



**HAL**  
open science

## JDL6'17, Actes des quatorzième Journées des Doctorants du LSIS

Amal Htait

► **To cite this version:**

| Amal Htait. JDL6'17, Actes des quatorzième Journées des Doctorants du LSIS . 2017. hal-01778022

**HAL Id: hal-01778022**

**<https://hal.science/hal-01778022>**

Submitted on 25 Apr 2018

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

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

22-23 Mai 2017



# 14èmes Journées des doctorants du LSIS

Rapports des doctorants du LSIS



## Préface

Dans le cadre de l'École Doctorale Mathématiques et Informatique (ED 184), il est demandé aux doctorants en 2ème année de thèse de présenter leurs travaux de recherche et les premiers résultats qu'ils ont pu obtenir.

Cette présentation se fera lors de la quatorzième édition des journées des doctorants du LSIS (JDL'6 2017), permettant de ce fait de remplir l'obligation des doctorants vis-à-vis de l'école doctorale. Les journées sont également ouvertes aux soumissions de l'ensemble des doctorants du LSIS.

Les journées ont pour objectif de réunir tous les membres du laboratoire. Elles visent aussi à permettre aux étudiants de présenter leurs travaux en présence de chercheurs confirmés. Ces journées entendent ainsi servir d'apprentissage à la procédure de publication à des congrès, aussi bien au niveau rédaction que présentation. Elles permettront également aux permanents de conseiller et soutenir par leurs remarques et commentaires les doctorants du LSIS.

Les JDL'6 2017 se dérouleront les 22 et 23 Mai 2017 au cours des Journées du laboratoire et concerneront l'ensemble des membres du LSIS. L'organisation des journées sera assurée par l'Association des Doctorants et Docteurs du LSIS (A2DL).

## Comité de programme JDL'6 2017

**Marc-Emmanuel Bellemare** - I&M

**Patrice Bellot** - DIMAG

**Nicolas Boizot** - ESCODI

**Eric Busvelle** - ESCODI

**Adrian Chifu** - DIMAG

**Francesca Chittaro** - ESCODI

**Isabel Demongodin** - MoFED

**Zouhair Hadi** - ESCODI

**Quentin Laval** - DIMAG

**Julien Lefèvre** - I&M

**Zhongliang Li** - ESCODI

**Mariam Melhem** - ESCODI

**Nacer Msirdi** - SASV

**Aziz Naamane** - SASV

**Moustapha Niane** - ESCODI

**Anaïs Ollagnier** - DIMAG

**Richard Ostrowski** - INCA

**Francesco Rossi** - ESCODI

**Sana Sellami** - DIMAG

**Fatma Slaimi** - DIMAG

**Erwan Tranvouez** - DIMAG

**Mohamed Zerrougui** - ESCODI

### Crédit :

Organisation/Editeur  $\LaTeX$ : Amal Htait  
en utilisant le progiciel  $\LaTeX$  confproc, version 0.8 (V. Verfaille)

Marseille — Mai, 2017



## Table des matières

### Session 1 - Informatique

1

- 1 Proof theory for conditional and non normal modal  
*Marianna Girlando*
- 13 Recommandation automatique, temps réel et adaptative d'emojis  
*Gael Guibon*
- 23 Identification Semi-Automatique de Mots-Germes pour l'Analyse de Sentiment et son Intensité en Langue Anglaise et Arabe  
*Amal Htaït*
- 31 Detection and characterization of geometric attributes on the rock bodies in the solar system  
*Nicole Christoff*
- 39 Trajectory analysis and behavior detection (Smart city as its main application)  
*Feda Almuhsen*
- 45 L'analyse des réseaux sociaux comme service  
*Meryem Bendella*
- 53 The Selection of Annotators based on Reliability Estimation in Crowdsourcing  
*Agus Budi Raharjo*
- 61 Machine Learning for industrial Robotics applications  
*Joris Guerin*

### Session 2 - Systèmes

67

- 67 Analyse et commande de systèmes électromécaniques à dynamiques couplées non-linéaires basée sur la théorie des formes normales  
*Tian TIAN*
- 75 Analysis of Information and Influence Diffusion in Social Networks  
*Lan YANG*
- 83 Testing experiments for 1-Place-Unbounded Synchronized Petri Nets  
*Changshun Wu*
- 91 Proposition d'un banc d'essai pour la mesure de la concentration de plusieurs gaz via les tubes à décharges  
*Aref Harakeh*
- 103 Simulation numérique du processus d'assemblage de câbles flexibles en grands déplacements.  
*Emmanuel Cottanceau*
- 113 Gestion de robots collaboratifs et mobiles en milieu contraint  
*David Busson*
- 127 Calcul d'amortisseurs vibratoires non linéaires pour groupe moto-propulseur automobile  
*Alexandre Renault*
- 139 Etude et développement d'un modèle mathématique pour la mesure et l'analyse, par radiographie, des défauts géométriques de surface de capsules nécessaires aux expériences sur les lasers de puissance.  
*Vincent Dutto*
- 145 Les métriques sous Finslerienne en dimension 3  
*Fazia Harache*
- 153 Vers un système de tracking vidéo de cibles mobiles embarqué sur hélicoptère couplé au système de pilote automatique pour l'assistance active aux missions Search And Rescue (SAR)  
*Pierre Zoppitelli*
- 163 Comparative Analysis and Optimization of PhotoVoltaicThermal Structure and Materials  
*Mohamed BenAbdellatif*

### Session 3 - Image

171

- 171 Exploration du lien entre connectivité anatomique et plissement cortical  
*Alexandre Pron*

- 181 Video Smoke Detection Review  
*RabebKaabi*
- 187 ISA - Une approche surfacique inverse pour la projection de données IRMf corticales  
*Lucie Thiebaut Lonjaret*
- 195 A novel maritime video-surveillance approach based on textural keypoint tracking  
*Vincent Marie*
- 203 Rendu interactif et hyper spectral conservateur par illumination globale pour la prédiction de la signature infrarouge des aéronefs  
*Romain Hoarau*

**Index des auteurs**

**213**

# Proof theory for conditional and non normal modal logics

Marianna Girlando\*

**Abstract:** Les logiques conditionnelles sont des logiques qui étendent la logique classique propositionnelle avec un nouveau opérateur,  $>$ . Pour ces logiques la théorie de la démonstration - la discipline qui s'occupe de définir des calculs pour décider la validité d'une formule - n'a pas encore été développée d'une façon complète. Donc, la ligne de recherche principale de la thèse consiste en définir des systèmes de calcul pour les logiques conditionnelles.

Plus précisément, deux sujets de recherche ont été identifiés et développés. D'une part, on a pris en considération la famille des logiques conditionnelles basées sur la sémantique à sphères de Lewis, et on a défini un calcul *interne* qui caractérise d'une façon uniforme une grande partie des logiques de cette famille. On essaiera maintenant de trouver des règles pour couvrir *toutes* les logiques de Lewis.

D'autre part, une ligne de recherche parallèle consiste en envisager des calculs *externes* pour une famille plus générale de logiques conditionnelles: celles basées sur la sémantique (relationnelle) préférentielle. On considère une sémantique alternative pour cette famille: les modèles "neighbourhood", étudiés originellement pour les logiques modales non normales. Au présent, on a défini un calcul externe basée sur ces modèles pour la logique épistémique des *croyances conditionnelles* (*CDL*). On est en train d'étendre ce résultat aux autres logiques conditionnelles, soit celles préférentielles que celles de Lewis.

Autre que le développement de calculs internes et externes, la thèse prévoit l'application des méthodes et calculs pour les logiques conditionnelles aux autres systèmes logiques, notamment les logiques épistémiques et, d'une façon plus générale, les logiques modales non normales.

## 1 Introduction

Conditional logics were developed in the last 50 years in order to capture hypothetical forms of reasoning which could not be properly formalized by the material implication employed in classical logic. These logics extend the

---

\*Aix-Marseille University, Helsinki University.



language of classical propositional logic with a new conditional connective  $\triangleright$ , suited to represent conditional sentences, where a conditional sentence can be any phrase of the form *if... then...* A particularly interesting (and famous) class of conditionals are *counterfactual* sentences, i.e. sentences of the form “if  $A$  were the case, then  $B$  would have been the case”, in which  $A$  is false. David Lewis [10] proposed a logic to formalize this kind of sentences; however, counterfactual logic is just one of the many conditional system which have been devised. Conditional logics have a great philosophical interest, and they display a wide range of applications, from computer science to artificial intelligence: they can be employed to formalize forms of counterfactual conditional reasoning, belief revision or non-monotonic reasoning which fail to be captured by classical logic.

As with modal logic, semantics for conditional logics can be defined in terms of possible worlds semantics, i.e. relational Kripke semantics. The basic intuition is that a formula “ $A$  conditionally implies  $B$ ” is true in a given world of the model if  $B$  is true in the set of worlds where  $A$  is true and that are most similar to the given world. Since there are different ways to formalize the notion of similarity to a given world, it is possible to define different semantics for conditional logics. As detailed in Giordano et al. (2009), there are three main classes of models for conditional logics: selection function semantics, preferential semantics and sphere semantics. These three semantics characterize different families of conditional logics, with different degrees of generality. Selection function semantics is the most general semantics for conditional logics (i.e. the one able to capture all systems); but it is also the less informative, meaning that it is difficult to construct a proof system based on it. Thus, we have focused our attention on two other families of conditional logics: the family of preferential conditional logics (i.e. logics based on preferential models), and the family of Lewis’ conditional logics (based on sphere semantics).

Our interest in conditional logics is mainly proof theoretical. Proof theory is devoted to the definition and the study of properties and the general structure of some special objects, namely formal proofs, or *derivations*, within purely logical calculi. When constructing a proof system, we seek the following properties for our calculi: (i) they should be *standard*, i.e. each connective should be handled by a fixed finite set of rules with a fixed finite set of premises; (ii) they should be *modular*, i.e. it should be possible to obtain calculi for stronger logics adding independent rules to calculi for weaker ones; (iii) they should be *analytical*, meaning that no external material other than what can be found in the formula to be proved is introduced in the formal proof; (iv) they should provide a decision procedure for the respective logics; finally (v) they should be of optimal complexity with respect to the known complexity of the logic.

We are mainly interested in sequent calculus, a particularly rich and expressive proof system. This formal calculus was introduced in the PhD

thesis of Gerhard Gentzen (1934-35), who gave inference rules for both intuitionistic and classical logics.

When trying to build a sequent calculi for non classical logics (for instance, modal logics, or conditional logics), we have to enrich either the *structure* or the *language* of Gentzen's sequent calculi. The former strategy is syntactical, and is called *internal*: the structure of the sequents is enriched, but sequents can be directly interpreted as formulas of the language. The latter strategy is called *external*: the sequent calculus language is enriched by expressions representing semantic informations (such as properties of the accessibility relation in sequent calculi for modal logics whose semantics is given in terms of Kripke models). Both approaches - internal and external - are valid, and each presents advantages and drawbacks: for instance, it is generally easier to prove termination for internal calculi, while finding the rules and proving cut elimination (i.e. analyticity of the system) is easier for external calculi.

We wish to develop both kinds of calculi for the widest possible family of conditional logics. Presently, we are working on an internal sequent calculus able to modularly capture Lewis' family of conditional logics, and an external sequent calculi apt to formalize the wider system of logics, characterized by preferential models. The external sequent calculus is based on an alternative semantics for preferential logics, defined in terms of neighbourhood models.

The present thesis report is organized as follows: we first present Lewis' system of conditional logics, based on sphere semantics, and the internal calculus we have devised for some of its logics [4]. We then present the class of neighbourhood models for preferential conditional logics, and we present an external sequent calculus we have developed on the basis of this semantics [7]. We conclude by presenting some possible applications and further research directions.

## 2 Internal calculi for Lewis' logics

In his book *Counterfactuals* [10] Lewis defined a family of conditional logics, based of *sphere semantics*. Sphere models are a generalization of relational Kripke models, with the property that to any world  $x$  is associated a family of nested sets of worlds. The intuition behind this semantics is that a set of worlds (i.e. a *sphere*) contains the worlds which are considered as equally plausible with respect to a given world. Then, in order to evaluate a conditional formula  $A > B$  at the world  $x$ , we have to consider the spheres associated to  $x$ ; the conditional is true if either the antecedent  $A$  is false in all the worlds of all the spheres or if it holds that, if the antecedent is true at some world of some sphere, then all the worlds of the sphere satisfy the classical implication  $A \supset B$ . This idea comes from the Ramsey test to evaluate conditionals (and counterfactuals) sentences, as reported by Stalnaker: to evaluate a conditional, the strategy is to add its antecedent

to the hypothetical possible worlds similar to the present world, and then proceed to an evaluation of the classical implication in it.

In building the formal system of logics, Lewis did not consider as primitive the conditional operator  $>$ ; he took as primitive the *comparative plausibility* operator  $\preceq$ . Intuitively, a formula  $A \preceq B$  is interpreted as “ $A$  is at least as plausible as  $B$ ”. The conditional (counterfactual, in this case) implication  $>$  can be defined in terms of comparative plausibility  $\preceq$  as

$$A > B \equiv (\perp \preceq A) \vee \neg((A \wedge \neg B) \preceq A)$$

The set of formulas of the language is given by

$$\mathcal{F} ::= p \mid \perp \mid \mathcal{F} \supset \mathcal{F} \mid \mathcal{F} \preceq \mathcal{F}$$

where  $p \in \mathcal{V}$  is a propositional variable. The other boolean connectives are defined in terms of  $\perp, \supset$  as usual.

We start by presenting Lewis' basic system of logic, called  $\mathbb{V}$ . The axiomatization for  $\mathbb{V}$  with  $\preceq$  as the main connective is given by taking any axiomatization of classical propositional logic, in addition to the following axioms:

$$\begin{array}{ll} \text{(CPR)} & \frac{\vdash B \supset A}{\vdash A \preceq B} \\ \text{(CPA)} & (A \preceq (A \vee B)) \vee ((B \preceq A) \vee B) \\ \text{(TR)} & ((A \preceq B) \wedge (B \preceq C)) \supset (A \preceq C) \\ \text{(CO)} & (A \preceq B) \vee (B \preceq A) \end{array}$$

Formally, the semantics for  $\mathbb{V}$  is defined by Lewis in terms of *sphere semantics*:

**Definition 2.1.** A *sphere model* is a triple  $\langle W, \text{SP}, \llbracket \cdot \rrbracket \rangle$ , consisting of a non-empty set  $W$  of elements, called *worlds*, a mapping  $\text{SP} : W \rightarrow \mathcal{P}(\mathcal{P}(W))$ , and a propositional valuation  $\llbracket \cdot \rrbracket : \mathcal{V} \rightarrow \mathcal{P}(W)$ . Elements of  $\text{SP}(x)$  are called *spheres*; we denote them by Greek letters  $\alpha, \beta, \dots$ . We assume the following conditions: for every  $\alpha \in \text{SP}(w)$  we have  $\alpha \neq \emptyset$ , and for every  $\alpha, \beta \in \text{SP}(w)$  we have  $\alpha \subseteq \beta$  or  $\beta \subseteq \alpha$ . The latter condition is called *sphere nesting*.

The valuation  $\llbracket \cdot \rrbracket$  is extended to all formulae by:  $\llbracket \perp \rrbracket = \emptyset$ ;  $\llbracket A \rightarrow B \rrbracket = (W - \llbracket A \rrbracket) \cup \llbracket B \rrbracket$ ;  $\llbracket A \preceq B \rrbracket = \{w \in W \mid \text{for all } \alpha \in \text{SP}(w), \text{ if } \llbracket B \rrbracket \cap \alpha \neq \emptyset, \text{ then } \llbracket A \rrbracket \cap \alpha \neq \emptyset\}$ .

Validity and satisfiability of formulae in a class of models are defined as usual. Conditional logic  $\mathbb{V}$  is the set of formulae valid in all sphere models.

To simplify the notation, for  $w \in W$  we write  $w \Vdash A$  instead of  $w \in \llbracket A \rrbracket$ . As for spheres, we introduce the notation used in [12], and write  $\alpha \Vdash^\forall A$  meaning  $\forall x \in \alpha (x \Vdash A)$  and  $\alpha \Vdash^\exists A$  meaning  $\exists x \in \alpha (x \Vdash A)$ . Employing this notation, satisfiability of a  $\preceq$ -formula in a model becomes the following:

$$x \Vdash A \preceq B \text{ iff for all } \alpha \in \text{SP}(x) \alpha \Vdash^\forall \neg B \text{ or } \alpha \Vdash^\exists A$$

Extensions of  $\mathbb{V}$  are semantically given by specifying additional conditions on the mapping of sphere models, namely:

- *normality*: for all  $w \in W$  we have  $\text{SP}(w) \neq \emptyset$ ;
- *total reflexivity*: for all  $w \in W$  we have  $w \in \bigcup \text{SP}(w)$ ;
- *weak centering*: normality holds and for all  $\alpha \in \text{SP}(w)$  we have  $w \in \alpha$ ;
- *centering*: for all  $w \in W$  we have  $\{w\} \in \text{SP}(w)$  and  $w \in$ ;
- *absoluteness*: for all  $w, v \in W$  we have  $\text{SP}(w) = \text{SP}(v)$ <sup>1</sup>.

Extensions of  $\mathbb{V}$  are denoted by concatenating the letters for these properties:  $\mathbb{N}$  for normality,  $\mathbb{T}$  for total reflexivity,  $\mathbb{W}$  for weak centering,  $\mathbb{C}$  for centering, and  $\mathbb{A}$  for absoluteness<sup>2</sup>.

In [4], we have proposed internal sequent calculi for the basic Lewis' logic  $\mathbb{V}$  as well as for some of its extensions. The calculi are based on a modification of the sequent format from [14]. The basic constituent of sequents in [14] and of our calculi are syntactic expressions called *blocks* of the form  $[A_1, \dots, A_m \triangleleft A]$ , with  $A_1, \dots, A_m, A$  formulas, representing disjunctions of  $\preceq$ -formulas.

**Definition 2.2.** A *block* is a tuple consisting of a multiset  $\Sigma$  of formulae and a single formula  $A$ , written  $[\Sigma \triangleleft A]$ . A *sequent* is a tuple  $\Gamma \Rightarrow \Delta$ , where  $\Gamma$  is a multiset of conditional formulae, and  $\Delta$  is a multiset of conditional formulae and blocks. The *formula interpretation* of a sequent is given by (all blocks shown):

$$\iota(\Gamma \Rightarrow \Delta', [\Sigma_1 \triangleleft A_1], \dots, [\Sigma_n \triangleleft A_n]) := \bigwedge \Gamma \rightarrow \bigvee \Delta' \vee \bigvee_{1 \leq i \leq n} \bigvee_{B \in \Sigma_i} (B \preceq A_i)$$

We here report the rules of the non-invertible calculi for logic  $\mathbb{V}$  and its extensions, including rules for contraction both on the sequent level and inside blocks<sup>3</sup>. We write  $[\Theta, \Sigma \triangleleft A]$  for  $[(\Theta, \Sigma) \triangleleft A]$ , with  $\Theta, \Sigma$  standing for multiset union.

<sup>1</sup>Lewis' original presentation in [10] is slightly different: he did not assume the general condition on sphere models that for every  $\alpha \in \text{SP}(w)$ :  $\alpha \neq \emptyset$ , and formulated normality as  $\forall w \in W : \bigcup \text{SP}(w) \neq \emptyset$  and weak centering as normality plus  $\forall w \in W \alpha \in \text{SP}(w)$ , if  $\alpha \neq \emptyset$  then  $w \in \alpha$ . Furthermore, note that absoluteness can be equally stated as *local absoluteness*:  $\forall w \in W \forall v \in \bigcup \text{SP}(w) \text{SP}(w) = \text{SP}(v)$ .

<sup>2</sup>Here are the axioms corresponding to the above conditions: **(N)**  $\neg(\perp \preceq \top)$ ; **(T)**  $(\perp \preceq \neg A) \rightarrow A$ ; **(W)**  $A \rightarrow (A \preceq \top)$ ; **(C)**  $(A \preceq \top) \rightarrow A$ ; **(A<sub>1</sub>)**  $(A \preceq B) \rightarrow (\perp \preceq \neg(A \preceq B))$ ; **(A<sub>2</sub>)**  $\neg(A \preceq B) \rightarrow (\perp \preceq (A \preceq B))$ .

<sup>3</sup>Actually, the rules **Con<sub>S</sub>** and **Con<sub>B</sub>** are not needed for completeness; we have included them in our official formulation of the calculi for technical convenience.

$$\begin{array}{c}
\frac{}{\Gamma, \perp \Rightarrow \Delta} \perp_L \quad \frac{}{\Gamma, p \Rightarrow \Delta, p} \text{init} \quad \frac{\Gamma, B \Rightarrow \Delta \quad \Gamma \Rightarrow \Delta, A}{\Gamma, A \supset B \Rightarrow \Delta} \supset_L \quad \frac{\Gamma, A \Rightarrow \Delta, B}{\Gamma \Rightarrow \Delta, A \supset B} \supset_R \\
\frac{\Gamma \Rightarrow \Delta, [A \triangleleft B]}{\Gamma \Rightarrow \Delta, A \preceq B} \preceq_R \quad \frac{\Gamma, A \preceq B \Rightarrow \Delta, [B, \Sigma \triangleleft C] \quad \Gamma, A \preceq B \Rightarrow \Delta, [\Sigma \triangleleft A], [\Sigma \triangleleft C]}{\Gamma, A \preceq B \Rightarrow \Delta, [\Sigma \triangleleft C]} \preceq_L^i \\
\frac{\Gamma \Rightarrow \Delta, [\Sigma_1, \Sigma_2 \triangleleft A], [\Sigma_2 \triangleleft B] \quad \Gamma \Rightarrow \Delta, [\Sigma_1 \triangleleft A], [\Sigma_1, \Sigma_2 \triangleleft B]}{\Gamma \Rightarrow \Delta, [\Sigma_1 \triangleleft A], [\Sigma_2 \triangleleft B]} \text{com}^i \\
\frac{A \Rightarrow \Sigma}{\Gamma \Rightarrow \Delta, [\Sigma \triangleleft A]} \text{jump} \quad \frac{\Gamma \Rightarrow \Delta, [\perp \triangleleft \top]}{\Gamma \Rightarrow \Delta} \text{N} \\
\frac{\Gamma, A \preceq B \Rightarrow \Delta, B \quad \Gamma, A \preceq B \Rightarrow \Delta, [\perp \triangleleft A]}{\Gamma, A \preceq B \Rightarrow \Delta} \top^i \quad \frac{\Gamma \Rightarrow \Delta, [\Sigma \triangleleft A], \Sigma}{\Gamma \Rightarrow \Delta, [\Sigma \triangleleft A]} \text{Wi} \\
\frac{\Gamma, A \preceq B \Rightarrow \Delta, B \quad \Gamma, A \preceq B, A \Rightarrow \Delta}{\Gamma, A \preceq B \Rightarrow \Delta} \text{Ci} \quad \frac{\Gamma^{\preceq}, B \Rightarrow \Delta^{\preceq}, [\Sigma \triangleleft B], \Sigma}{\Gamma \Rightarrow \Delta, [\Sigma \triangleleft B]} \text{Ai}
\end{array}$$

Here  $\Gamma^{\preceq} \Rightarrow \Delta^{\preceq}$  is  $\Gamma \Rightarrow \Delta$  restricted to formulae of the form  $C \preceq D$  and blocks.

Presently, we are able to treat systems  $\mathbb{V}$ ,  $\mathbb{VN}$ ,  $\mathbb{VT}$ ,  $\mathbb{VW}$ ,  $\mathbb{VA}$  and  $\mathbb{VNA}$ . For these systems we have proved soundness, cut elimination and semantic completeness [4]. We also have an intuitive argument showing termination; however, the resulting decision procedure from it is not optimal (the complexity of conditional systems of conditional logics is PSPACE or coNP, refer to [9]). We are currently working on the implementation of internal sequent calculus systems featuring the missing combinations of rules, namely uniformity, and for developing proof systems also for  $\mathbb{VTA}$ ,  $\mathbb{VWA}$  and  $\mathbb{VCA}$  [5].

### 3 External calculi for preferential conditional logics

Let us now take into account another (more general) family of conditional logics, the one characterized by preferential semantics<sup>4</sup>. In this case, we consider our language as constituted by the conditional operator  $>$  as primitive. The language of  $\mathbb{PCL}$  is defined as follows:

$$A := P | \perp | \neg A | A \vee A | A \wedge A | A \supset A | A > A$$

An axiomatization of  $\mathbb{PCL}$  in terms of the conditional operator can be given by providing an axiomatization of classical propositional logic, to which we add the following axioms and inference rules [13]:

<sup>4</sup>Lewis' family of conditional logics can be characterized by a special case of preferential models: the models in which the accessibility relation is connected.

- (**RCEA**)  $A \supset C \text{ implies } (A > C) \supset C (B > C)$   
(**RCK**)  $A \supset B \text{ implies } (C > A) \supset (C > B)$   
(**R-And**)  $((A > B) \wedge (A > C)) \supset (A > (B \wedge C))$   
(**ID**)  $A > A$   
(**CM**)  $((A > B) \wedge (A > C)) \supset ((A \wedge B) > C)$   
(**RT**)  $((A > B) \wedge ((A \wedge B) > C)) \supset (A > C)$   
(**OR**)  $((A > C) \wedge (B > C)) \supset ((A \vee B) > C)$

The semantics of  $\mathbb{PCL}$  can be defined in terms of preferential models. In these models, to each world  $x$  is associated a set of accessible worlds  $W_x$  and a *preference* relation  $y \leq_x z$ , meaning that world  $y$  is at least as similar to  $x$  than world  $z$ . Then, the intuition is that a conditional formula  $A > B$  is true at a world  $x$  if either there are no worlds accessible from  $x$  in which  $A$  is true, or if for each accessible  $A$ -world  $y$  there is another accessible world  $z$  such that  $y \leq_x z$  and  $y$  satisfies  $A \wedge \neg B$ . Formally,

**Definition 3.1.** A *preferential model* has the form  $\mathcal{M} = \langle W, \{W_x\}_{x \in W}, \{\leq_x\}_{x \in W}, \llbracket \cdot \rrbracket \rangle$ , where

- $W$  is a non empty set of elements, called *worlds*;
- for every  $x \in W$ ,  $W_x$  is a subset of  $W$ ;
- for every  $x \in W$ ,  $\leq_x$  is a reflexive and transitive binary relation in  $W_x$ ;
- for every (atomic) formula  $P$ ,  $\llbracket P \rrbracket$  is a subset of  $W$ .

Truth conditions for boolean formulas are defined in the standard way; as for the conditional operator, we have:

$$x \Vdash A > B \text{ iff } \forall u \in W_x (u \Vdash A \rightarrow \exists y \in W_x (y \leq_x u \text{ and } y \Vdash A \text{ and } \forall z \in W_x (z \leq_x y \rightarrow z \Vdash A \supset B)))$$

Following [13] we provide an alternative class of models for  $\mathbb{PCL}$ : neighbourhood models, basing on which we will define the labelled sequent calculus for the logic.

**Definition 3.2.** Let  $\mathcal{A}$  be a set of agents; a *neighbourhood model* has the form  $\mathcal{M} = \langle W, \{I\}_{i \in \mathcal{A}}, \llbracket \cdot \rrbracket \rangle$  where  $W$  is a non empty set of elements;  $I$  is a function  $I : W \rightarrow \mathcal{P}(\mathcal{P}(W))$ , called the *neighbourhood function* and  $\llbracket \cdot \rrbracket : \text{Atm} \rightarrow \mathcal{P}(W)$  is the propositional evaluation.

For all  $x \in W$ , we assume the neighbourhood function to satisfy the property of *non-emptiness*:  $\forall \alpha \in I(x). \alpha \neq \emptyset$ . The truth conditions for Boolean combinations of formulas are the standard ones; for conditional implication we have:

$$x \in \llbracket A > B \rrbracket \text{ iff } \forall \alpha \in I(x) (\alpha \cap \llbracket A \rrbracket = \emptyset \text{ or } \exists \beta \in I(x) (\beta \subseteq \alpha \text{ and } \beta \cap \llbracket A \rrbracket \neq \emptyset \text{ and } \beta \subseteq \llbracket A \supset B \rrbracket))$$

A formula  $A$  is *valid* in  $\mathcal{M}$  if  $\llbracket A \rrbracket = W$ . We say that  $A$  is *valid in the class of neighbourhood models* if  $A$  is valid in every  $N$ -model.

Again, we write  $x \Vdash A$  instead of  $x \in \llbracket A \rrbracket$ , and we recall the local forcing relations introduced in [12] to internalize the neighbourhood semantics in a system of sequent calculus. These relations extend the language with the following expressions:

$$\begin{aligned} \alpha \Vdash^\forall A &\text{ iff } \forall y \in \alpha (y \Vdash A) \\ \alpha \Vdash^\exists A &\text{ iff } \exists y \in \alpha (y \Vdash A) \end{aligned}$$

With this notation, the truth condition for the conditional operator belief becomes:

$$x \Vdash A > B \text{ iff } \forall \alpha \in I(x) (\alpha \Vdash^\forall \neg A \text{ or } \exists \beta \in I(x) (\beta \subseteq \alpha \text{ and } \beta \Vdash^\exists A \text{ and } \beta \Vdash^\forall A \supset B))$$

Negri and Olivetti proved in [13] the full equivalence between the two classes of models; this result is a generalization of the canonical "topological construction" considered by Pacuit [15] and Marti and Pinosio [11], and going back to Alexandroff [1].

Lewis' sphere models represent a special case of neighbourhood semantics: the case in which we have the property that all the spheres (i.e. the neighbourhoods) are nested. Nesting of spheres is expressed by the following property:

$$(Nes) \forall \alpha, \beta \in I(x) (\alpha \subseteq \beta \text{ or } \beta \subseteq \alpha)$$

Thus, if we add nesting to  $\mathbb{P}CL$  we obtain Lewis' basic system of logic  $\mathbb{V}$ . Then, it is possible to modularly define models for extensions of  $\mathbb{P}CL$  in the same way as we obtained extensions for  $\mathbb{V}$ : by specifying axioms or conditions on the models<sup>5</sup>. The relevant semantics conditions are the ones we have defined for Lewis' family of conditional logics: normality, total reflexivity, weak centering, centering, uniformity, absoluteness and nesting. We shall call  $\mathbb{P}CL$  the basic system, and denote extensions of it by adding the letters corresponding to the semantic conditions. This lattice represents all the logics whose models can be defined in terms of neighbourhood models. Systems on the left are the ones without nesting ( $\mathbb{P}$  is here for  $\mathbb{P}CL$ ), while systems on the right are the ones with nesting (corresponding to Lewis' family of logics). When two systems are connected by a line, the one which is higher is an extension of the lower. Also,  $\mathbb{V}$  is an extension of  $\mathbb{P}$ ,  $\mathbb{V}N$  of  $\mathbb{P}N$  and so on. System  $\mathbb{P}WA$  is equivalent to  $\mathbb{V}WA$  (and both are equivalent to **S5**), and system  $\mathbb{P}CA$  is equivalent to  $\mathbb{V}CA$ , and both are equivalent to classical logic (i.e. the model collapses to truth functional evaluation).

<sup>5</sup>Neighbourhood models for this system, as well as a labelled system of sequent calculus, have been proposed in [13].

In [13], Negri and Olivetti provided a labelled sequent calculus for system  $\mathbb{PCL}$  based on neighbourhood semantics. Negri gave a general recipe on how to extract a labelled sequent calculus for a logic whose semantics is defined in terms of neighbourhood models in [12].

At the moment, we have treated in detail in [7] and [8] just one of the conditional logics based on neighbourhood semantics: it is an epistemic logic, corresponding to logic  $\mathbb{VTA}$  in our lattice. This logic, called *CDL* for conditional doxastic logic, is a multi-agent epistemic logic suited to represent the revisable nature of belief [7]. This logic was introduced in [3] and [2]; its main epistemic operator is the *conditional belief* operator  $Bel_i(B|A)$ , meaning “agent  $i$  believes  $B$ , given  $A$ ”. If we consider the single agent version of the logic, rules for the conditional belief operator are exactly the rules for the conditional operator  $A > B$ . Here, differently from [7], we directly give the rules for  $>$ .

The semantics of neighbourhood models is internalized in the sequent calculus by means of two kinds of labels:  $x, y, \dots$  are labels for worlds, while  $a, b, \dots$  are labels for neighbourhoods, as in the ground calculus for neighbourhood semantics introduced in [12]. The meaning of the expressions employed in the calculus is defined as follows:

$$\begin{aligned} a \Vdash^\exists A &\equiv \exists x(x \in a \ \& \ x \Vdash A) \\ a \Vdash^\forall A &\equiv \forall x(x \in a \rightarrow x \Vdash A) \\ x \Vdash_a B|A &\equiv \exists c \in I(x)(c \subseteq a \ \& \ c \Vdash^\exists A \ \& \ c \Vdash^\forall A \supset B) \\ x : A > B &\equiv \forall a \in I(x)(a \Vdash^\forall \neg A) \text{ or } x \Vdash_a B|A \end{aligned}$$

The rules of the calculus can be found in Figure 1. In [7] we have proven soundness, cut elimination and (semantic) completeness of the calculus with respect to neighbourhood models. We also have an argument showing termination, which relies on an argument showing that the number of world and neighbourhood labels which can occur in a derivation is finite. From the proof of termination we have that the problem of deciding validity of a formula in *CDL* can be resolved in *NEXPTIME*. This complexity is possibly not optimal, since multi-agent *S5* is a fragment of *CDL*, and Halpern and Friedman [9] proved that *PSPACE* is the lower bound for deciding validity of a *S5* formula. We conjecture that *PSPACE* also is the upper bound for *CDL*; we will consider this problem in further research.

We are currently working, in collaboration with Sara Negri, from the University of Helsinki, to find labelled calculi for the remaining 27 logics represented in the above lattices, both for the systems not featuring nesting and for the nested ones. Employing the methodology described in [12], we shall define rules in correspondence to the semantic conditions which characterize the logics, and then extend the results of soundness, cut elimination and semantic completeness also to these systems. The most difficult part will be to prove termination for the extended calculi.



---

**Initial sequents**

$$x : P, \Gamma \Rightarrow \Delta, x : P \qquad x : \perp, \Gamma \Rightarrow \Delta \quad \Gamma \Rightarrow \Delta, x : \top$$

**Rules for local forcing**

$$\frac{x : A, x \in a, a \Vdash^\forall A, \Gamma \Rightarrow \Delta}{x \in a, a \Vdash^\forall A, \Gamma \Rightarrow \Delta} \text{L}\Vdash^\forall \qquad \frac{x \in a, \Gamma \Rightarrow \Delta, x : A}{\Gamma \Rightarrow \Delta, a \Vdash^\forall A} \text{R}\Vdash^\forall \text{ (x fresh)}$$

$$\frac{x \in a, x : A, \Gamma \Rightarrow \Delta}{a \Vdash^\exists A, \Gamma \Rightarrow \Delta} \text{L}\Vdash^\exists \text{ (x fresh)} \qquad \frac{x \in a, \Gamma \Rightarrow \Delta, x : A, a \Vdash^\exists A}{x \in a, \Gamma \Rightarrow \Delta, a \Vdash^\exists A} \text{R}\Vdash^\exists$$

**Propositional rules** : rules of **G3K**

**Rules for conditional belief**

$$\frac{a \in I(x), a \Vdash^\exists A, \Gamma \Rightarrow \Delta, x \Vdash_a B|A}{\Gamma \Rightarrow \Delta, x : A > B} \text{RB (a fresh)}$$

$$\frac{a \in I(x), x : A > B, \Gamma \Rightarrow \Delta, a \Vdash^\exists A \quad x \Vdash_a B|A, a \in I(x), x : A > B, \Gamma \Rightarrow \Delta}{a \in I(x), x : A > B, \Gamma \Rightarrow \Delta} \text{LB}$$

$$\frac{a \in I(x), \Gamma \Rightarrow \Delta, x \Vdash_a B|A, a \Vdash^\exists A \quad a \in I(x), \Gamma \Rightarrow \Delta, x \Vdash_a B|A, a \Vdash^\forall A \supset B}{a \in I(x), \Gamma \Rightarrow \Delta, x \Vdash_a B|A} \text{RC}$$

$$\frac{a \in I(x), a \Vdash^\exists A, a \Vdash^\forall A \supset B, \Gamma \Rightarrow \Delta}{x \Vdash_i B|A, \Gamma \Rightarrow \Delta} \text{LC(a fresh)}$$

**Rules for inclusion**

$$\frac{a \subseteq a, \Gamma \Rightarrow \Delta}{\Gamma \Rightarrow \Delta} \text{Ref} \qquad \frac{c \subseteq a, c \subseteq b, b \subseteq a, \Gamma \Rightarrow \Delta}{c \subseteq b, b \subseteq a, \Gamma \Rightarrow \Delta} \text{Tr}$$

$$\frac{x \in a, a \subseteq b, x \in b, \Gamma \Rightarrow \Delta}{x \in a, a \subseteq b, \Gamma \Rightarrow \Delta} \text{L}\subseteq$$

**Rules for semantic conditions**

$$\frac{a \subseteq b, a \in I(x), b \in I(x), \Gamma \Rightarrow \Delta \quad b \subseteq a, a \in I(x), b \in I(x), \Gamma \Rightarrow \Delta}{a \in I(x), b \in I(x), \Gamma \Rightarrow \Delta} \text{L}$$

$$\frac{x \in a, a \in I(x), \Gamma \Rightarrow \Delta}{\Gamma \Rightarrow \Delta} \text{T (a fresh)}$$

$$\frac{a \in I(x), y \in a, b \in I(x), b \in I(y), \Gamma \Rightarrow \Delta}{a \in I(x), y \in a, b \in I(x), \Gamma \Rightarrow \Delta} \text{A}_1 \qquad \frac{a \in I_i(x), y \in a, a \in I_i(y), \Gamma \Rightarrow \Delta}{a \in I_i(x), y \in a, \Gamma \Rightarrow \Delta} \text{A}_2$$


---

Figure 1: Rules of *CDL*

## 4 Conclusions and research directions

To sum up, the main goal of the thesis is to find analytic calculi and general proof theoretic strategies for the widest possible families of conditional logics. To this aim, we are currently developing two research directions: on one side, we want to find *internal* sequent calculi for the logics of Lewis' family, and on the other side we want to find *external* sequent calculi for the family of preferential conditional logics, which include also Lewis' family of logics. The former research direction is being carried on in collaboration with Bjoern Lellman (TU Wien) and Gian Luca Pozzato (University of Turin), while the latter is in collaboration with Sara Negri (University of Helsinki). Other interesting research directions we plan to investigate in the near future are the following: the development of internal calculi also for the whole family of preferential conditional logics (a result that, for the best of our knowledge, is still missing); and the study of a formal equivalence result between the external and internal sequent calculi for the logics<sup>6</sup>.

Finally, another possible research direction would be to apply the methods and results described above to other systems of logic displaying a proof theoretic behaviour similar to conditional logics. We could deepen the study of epistemic logics, thus extending the work in [7], and apply the formal instruments developed for conditional logics to non normal modal logics, since the two systems display a similar semantic behaviour in terms of neighbourhood semantics.

## References

- [1] Pavel Alexandroff. Diskrete Räume. *Mat.Sb. (NS)*, 2(3):501–519, 1937.
- [2] Alexandru Baltag and Sonja Smets. A qualitative theory of dynamic interactive belief revision. *Logic and the foundations of game and decision theory (LOFT 7)*, 3:9–58, 2008.
- [3] Oliver Board. Dynamic interactive epistemology. *Games and Economic Behavior*, 49(1):49–80, 2004.
- [4] M. Girlando, B. Lellmann, N. Olivetti, and G. L. Pozzato. Standard sequent calculi for Lewis' logics of counterfactuals. In *European Conference on Logics in Artificial Intelligence*, pages 272–287. Springer, 2016.
- [5] M. Girlando, B. Lellmann, N. Olivetti, and G. L. Pozzato. Hypersequents calculi for Lewis' conditional logics with uniformity and reflexivity. submitted.

---

<sup>6</sup>In [6] we present one side of the equivalence as a preliminary result.

- [6] M. Girlando, S. Negri, and Olivetti. From labelled to internal sequent calculi for Lewis' conditional logic  $v$ .
- [7] M. Girlando, S. Negri, N. Olivetti, and V. Risch. The logic of conditional beliefs: Neighbourhood semantics and sequent calculus. In *Advances in Modal Logic*, volume 11, pages 322–341, 2016.
- [8] M. Girlando, S. Negri, N. Olivetti, and V. Risch. Conditional beliefs: from neighbourhood semantics to sequent calculus. *Review of Symbolic Logic*, submitted.
- [9] Joseph Y Halpern and Nir Friedman. On the complexity of conditional logics. In *Principles of Knowledge Representation and Reasoning: Proceedings of the Fourth International Conference (KR'94)*, page 202. Morgan Kaufmann Pub, 1994.
- [10] David K Lewis. *Counterfactuals*. Blackwell, 1973.
- [11] Johannes Marti and Riccardo Pinosio. Topological semantics for conditionals. *The Logica Yearbook*, 2013.
- [12] Sara Negri. Proof theory for non-normal modal logics: The neighbourhood formalism and basic results. *IFCoLog Journal of Logic and its Applications*, to appear,. [http://www.helsinki.fi/~negri/negri\\_ifcolog.pdf](http://www.helsinki.fi/~negri/negri_ifcolog.pdf).
- [13] Sara Negri and Nicola Olivetti. A sequent calculus for preferential conditional logic based on neighbourhood semantics. In *Automated Reasoning with Analytic Tableaux and Related Methods*, pages 115–134. Springer, 2015.
- [14] N. Olivetti and G.L. Pozzato. A standard internal calculus for Lewis' counterfactual logics. In *International Conference on Automated Reasoning with Analytic Tableaux and Related Methods*, pages 270–286. Springer, 2015.
- [15] Eric Pacuit. Dynamic epistemic logic I: Modeling knowledge and belief. *Philosophy Compass*, 8(9):798–814, 2013.

---

## Recommandation automatique, temps réel et adaptative d'emojis

Gaël Guibon<sup>\*,\*\*</sup>

Encadrement : Magalie Ochs<sup>\*</sup> et Patrice Bellot<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup> Aix Marseille Université, Université de Toulon, CNRS, ENSAM, LSIS, Marseille, France

<sup>\*\*</sup> Caléa Solutions

---

*RÉSUMÉ.* Dans les messageries sociales les emojis sont parmi les principaux vecteurs d'émotions et de sentiments des individus. Aujourd'hui, les utilisateurs naviguent dans des bibliothèques contenant souvent des milliers d'emojis pour sélectionner celui correspondant à ce qu'ils souhaitent transmettre. Nos travaux visent à développer un système de recommandation automatique d'emoji permettant à l'utilisateur d'identifier un panel réduit d'emojis pertinents étant donnée sa conversation en évitant le parcours de bibliothèques conséquentes d'emojis. Cette recommandation pouvant permettre à l'utilisateur de requêter les phrases susceptibles de contenir cet emoji, et l'émotion qui y est associée. Nos travaux sont inscrits dans le cadre d'une CIFRE entre Caléa Solutions et le LSIS (sous la direction de Magalie Ochs et Patrice Bellot) ayant débuté en mars 2016.

*ABSTRACT.* Emojis are among the main carriers of emotions and sentiment in social messaging applications. Nowadays users have to scroll down libraries of thousands of emojis in order to select the one they want to use. Our work aims to build an emoji automatic recommendation system to avoid scrolling emoji libraries. It will allow the user to request emojis by the current sentence based on the emotion it conveys. This research is performed within the frame of a CIFRE Ph.D between the Caléa Solutions company and the LSIS laboratory (under the supervision of Magalie Ochs and Patrice Bellot). This thesis started in march 2016.

*MOTS-CLÉS :* Classification multi-étiquette recommandation d'emoji, analyse de sentiment.

*KEYWORDS:* Multilabel classification, emoji recommendation, sentiment analysis.

---

## 1. Introduction

Les messageries sociales actuelles sont l'un des moyens de communication les plus utilisés avec plus de la moitié (55%) des adolescents envoyant au moins un message instantané par jour sur téléphone portable (Lenhart, 2015). Elles se trouvent sous des formes diverses et variées, qu'il s'agisse d'une messagerie sociale non instantanée tel un forum ou un outil de micro-blogging, ou bien instantanée telle une application de messages privés ou une salle de chat. L'expression des émotions peut se faire au travers d'un langage non verbal qui peut prendre plusieurs formes. Les émoticônes, un ensemble de caractères destinés à représenter une expression faciale ou une gestuelle ( :-) , o/ , -\_- , etc.), ont très vite émergé<sup>1</sup>. Les emojis sont apparus dans les années 90 par DoCoMo et se distinguent des émoticônes en ce qu'ils sont des images représentant non plus uniquement des expressions faciales 🤪, également des objets et concepts 🍷. Ils ne sont pas limités par les caractères disponibles et leur traitement ne peut donc pas se faire de la même manière que pour les émoticônes.

L'utilisation des emojis a crû de façon spectaculaire depuis l'introduction du clavier emojis dans l'iOS d'Apple en 2011. Si bien que la quasi-totalité des interfaces de messageries sociales possèdent désormais la fonctionnalité d'envoi d'emojis afin de permettre à l'utilisateur d'exprimer visuellement ses émotions et sentiments. A ce jour, ce sont désormais 92% des utilisateurs en ligne qui utilisent des emojis (Team, 2015). Ces derniers remplacent au fur et à mesure une bonne partie du vocabulaire propre à la communication en ligne. Cependant, afin de sélectionner l'icône correspondant au message non-verbal qu'il souhaite transmettre, l'utilisateur est souvent amené à naviguer dans des bibliothèques contenant des milliers d'emojis parmi une liste d'emojis standards et propriétaires ne cessant de s'agrandir par centaines. Les 104 nouveaux emojis d'Apple avec l'iOS 10.2<sup>2</sup>, ou encore les nouveaux emojis d'Android 7.1 représentant des professions<sup>3</sup> en sont un bon exemple. Si l'on se restreint aux emojis standards, c'est-à-dire aux emojis communément admis et utilisés dans la plupart des applications, le consortium Unicode en compte actuellement 2389 dont 797 ajoutés en 2015 et 233 depuis le début de l'année 2016<sup>4</sup>. Ces emojis font également l'objet de refontes graphiques régulières visant à uniformiser leur interprétation et à minimiser les différentes interprétations possibles (Miller *et al.*, 2016)(Kelly, 2015).

## 2. Sujet de thèse

Nos travaux de recherche visent à *recommander automatiquement* les emojis pertinents à l'utilisateur en fonction de plusieurs paramètres. Dans l'industrie, cette re-

1. Voici un exemple d'émoticônes joyeux : <http://japaneseemoticons.me/happy-emoticons/>

2. <http://emojipedia.org/apple/ios-10.2/new/>

3. <http://blog.emojipedia.org/android-7-1-emoji-changelog/>

4. <http://unicode.org/emoji/charts/full-emoji-list.html>

commandation est actuellement limitée à une suggestion d'emojis en fonction du mot actuel, tel *iMessage* sur iOS 10. Plusieurs facteurs sont à prendre en compte pour une recommandation : le contexte, tout d'abord, qui peut s'inscrire dans une phrase, un mot, ou toute une conversation ; la prédiction de comportements utilisateurs appris ; ou encore le profil de l'utilisateur.

Les emojis étant divisés en plusieurs catégories (visages, émotions, objets, etc.) leur recommandation entraîne la mise en oeuvre de plusieurs domaines de recherche. L'analyse de sentiment pour détecter la polarité est notre premier axe étudié pour mieux recommander les emojis, mais l'identification précise des émotions à partir du texte est également idéale pour recommander des emojis émotionnels. Il va ainsi de même pour l'identification du concept de la phrase/proposition, des relations hiérarchiques entre chaque proposition au sein d'un texte, et de l'aspect du sentiment exprimé.

Actuellement toutes les pistes possibles ne transparaissent pas dans l'état de l'art très récent de la recommandation d'emoji. Toutefois avec le contexte industriel actuel les emojis sont omniprésents : Mood Messenger, iMessage, Gmail, etc. Nombreuses sont les applications offrant la possibilité d'inclure des emojis, à choisir au sein d'une bibliothèque qui ne cesse de s'étoffer.

### 3. Etat de l'art

Les émotions et les expressions faciales sont représentées par des caractères (*émoticônes* : :-), :P)), ou des images (*emojis* : 🍌). Les emojis permettent également de représenter des idées, puisqu'ils constituent des images et ne sont donc pas limités à un nombre de caractères contrairement aux émoticônes. Les emojis étant des images, ils ne peuvent pas être considérés comme du texte par les méthodes de Traitement Automatique du Langage (TAL) ou de Recherche d'Information (RI) classiques. Les emojis sont des signes graphiques, et en ce sens ils possèdent une signification (Peirce, 1902) qui est bien souvent dépendante du contexte d'apparition. Les emojis tendent à remplacer petit à petit les émoticônes dans les conversations sociales (Pavalanathan et Eisenstein, 2015). Ils sont également plus nombreux et plus complexes, puisque l'objet de leur représentation n'est pas limitée à une expression. Les récents emojis de profession (pompiers, chanteur, etc) en sont un exemple. Les emojis non seulement remplacent les émoticônes, mais vont bien au delà en terme de possibles représentations. C'est pourquoi dans nos travaux nous nous focalisons sur les emojis.

Les emojis sont utilisés dans 70% des cas pour faciliter la compréhension d'un message (Kelly, 2015). Une bonne recommandation des emojis est donc essentielle dans un contexte de messagerie sociale, qu'elle soit publique ou privée, pour améliorer la qualité et la précision du dialogue. Le dialogue étant initialement un échange oral dans lequel bon nombre d'indices extra-textuels permettent de désambiguïser l'énoncé. Les emojis permettent ainsi de retrouver les indices de communication du

visage qui nous sont souvent nécessaires, en plus de la prosodie, pour identifier le sarcasme ou encore l'ironie par exemple. La tâche de classification constitue la première étape d'un système de recommandation d'emojis. En effet, les emojis étant déjà sub-divisés en catégories et sous-catégories, prédire leur apparition à partir d'usages constitue la première étape pour les recommander. La classification de texte par emojis est ainsi l'objet de travaux récents.

Une classification efficace est nécessaire pour prédire les emojis et mieux les recommander. Cette classification peut prendre plusieurs formes. (Eisner *et al.*, 2016) ont par exemple effectué des plongements lexicaux (*word embeddings*) d'emojis à partir de leur description textuelle donnée par Unicode. Cette description prend la forme suivante : 🍷, "smiling face with heart-eyes". Cette description des emojis permettrait de les définir sans avoir à prendre en compte le contexte d'apparition de l'emoji. Une classification multi-classe de description d'emojis a été ainsi faite pour évaluer leur modèle, attribuant le bon emoji à la bonne description avec un taux d'exactitude de 85%. (Xie *et al.*, 2016) ont de leur côté également abordé la recommandation d'emoji comme un problème de classification par réseaux de neurones appris sur des données réelles issues de la plateforme sociale Weibo<sup>5</sup>. Cette classification a été réalisée dans un contexte conversationnel, pour une performance de 65% de précision sur les 3 emojis les plus utilisés dans leur corpus. Toute la classification se limitait ici aux 10 emojis les plus utilisés. Tandis que Barbieri (Barbieri *et al.*, 2017) a prédit les 20 emojis les plus fréquents dans des tweets à l'aide de Long Short-term Memory Networks.

On peut faire un parallèle entre la classification de texte par émotions (Chaffar et Inkpen, 2011) et par humeurs (Mishne, 2005) avec la classification de texte par emojis. En effet, prédire automatiquement une émotion ou une humeur permettrait d'identifier ensuite automatiquement un sous-ensemble d'emojis correspondants. Il serait possible de se restreindre aux 7 classes d'émotions inspirées des notions des émotions basiques d'Ekman (Ekman, 1993) que sont la colère, le dégoût, la peur, le bonheur, la tristesse et la surprise. C'est ce qu'ont fait Alm *et al.* en classant automatiquement des contes de fée (Alm *et al.*, 2005). Plus récemment, (Li et Xu, 2014) ont ainsi classifié les messages de blogs par émotions à l'aide d'une extraction de la cause de l'émotion.

Nos travaux de recherche se distinguent des travaux décrits ci-dessus. Nous nous focalisons sur une approche dynamique de prédiction au fil des messages, et considérons l'utilisation consécutive de plusieurs emojis, en plus d'aller au delà des 10 emojis les plus utilisés. Nous proposons pour cela une approche par classification multi-étiquette (*multilabel*).

<sup>5</sup>. <http://www.weibo.com/>

#### 4. Expérimentations scientifiques et publications

La majorité des travaux se font sur Twitter (Barbieri *et al.*, 2017) ou Weibo (Xie *et al.*, 2016) et ont pour objectif la recommandation automatique d'emojis via la prédiction. Notre première contribution visée est ainsi d'obtenir un modèle prédictif performant d'emojis, non seulement dans des messages informels publics (Tweets, Weibo, etc.), mais également dans des messages informels privés (SMS, messages instantanés - What's App, Mood Messenger, etc. -). Nous nous limitons au niveau de la phrase pour recommander les emojis à l'aide d'un indicateur d'humeur propre à notre corpus et de valeurs de polarité prédites.

Actuellement, notre principale contribution concerne la prédiction automatique d'emojis sentimentaux dans des messages informels privés, à l'aide de classification multi-étiquettes (Guibon *et al.*, 2017), ainsi qu'un état de l'art publié l'année dernière (Guibon *et al.*, 2016).

##### 4.1. Corpus de messages informels privés

Le corpus utilisé est constitué de messages informels privés de langue anglaise dont certaines caractéristiques sont illustrées dans le tableau 1. Il provient initialement d'un ensemble de 1 300 000 messages confidentiels dont nous avons extrait uniquement les messages contenant des emojis pour permettre au classifieur supervisé d'apprendre les corrélations entre les emojis et les caractéristiques des phrases. Ainsi nous ne récupérons que les phrases qui contiennent des emojis sentimentaux afin de limiter l'étendue de la prédiction. Par le terme "emojis sentimentaux" nous désignons les emojis représentant des sentiments (amour, joie, tristesse, etc.). On les distingue des emojis objets tels qu'une voiture, un drapeau ou un café par exemple. La détection des phrases est effectuée à l'aide du modèle anglais d'OpenNLP<sup>6</sup> (Baldrige, 2005).

Dans le corpus, nous avons identifié 169 emojis sentimentaux<sup>7</sup> à partir de leur représentation (*i.e. son triplet de scores de polarité décrit ci-après*), et de l'*Emoji Sentiment Ranking* (ESR) (Kralj Novak *et al.*, 2015). L'ESR fournit les scores de polarité négative, neutre et positive pour 751 emojis à partir d'une annotation manuelle par 83 annotateurs de 1,6 million de tweets en contexte effectué pour 13 langues européennes. Ainsi, l'emoji 😞 qui est représenté par le triplet {négatif ; neutre ; positif} suivant {0,532 ; 0,108 ; 0,360}, est porteur de sentiment. Ce qui n'est pas le cas pour l'emoji ✨ ({0,052 ; 0,545 ; 0,403}) dont la valeur neutre est supérieure aux autres. Bien entendu cet emoji ✨ pourrait être porteur de sentiment dans certains contextes, mais l'utilisation de l'ESR permet d'obtenir la valeur globale moyenne issue de nombreux contextes d'apparition pour chaque emoji.

6. Modèle d'OpenNLP de découpage en phrases disponible ici : <http://opennlp.sourceforge.net/models-1.5/>

7. [https://gguibon.github.io/coria2017\\_data.html](https://gguibon.github.io/coria2017_data.html)



<b>Utilisateurs</b>	1,272	<b>Mots</b>	69,930
<b>Phrases</b>	9,700	<b>Emojis</b>	18,384
<b>Emojis distincts</b>	164	<b>Emojis/phrased</b>	1.9
<b>Moyenne mots/phrased</b>	7 mots	<b>Humeurs</b>	38
<b>ssth* phrases positive</b>	1,014	<b>ssth* phrases négatives</b>	0

Tableau 1 : Corpus de messages informels privés. \*ssth = SentiStrength

#### 4.2. Prédiction d'emojis sentimentaux

Pour l'apprentissage des modèles nous avons utilisé les *ML-RandomForest* étant donné la taille de notre corpus et ses 9700 phrases (Tableau 1), et le fait qu'ils possèdent une forte capacité de généralisation, idéale pour des corpus relativement petits (Strobl *et al.*, 2008). L'implémentation utilisée est celle de SciKit-Learn<sup>8</sup> avec un total de 20 arbres de décisions sans limiter leur taille. Bien que différents en certains points, chaque modèle a été construit de la manière suivante : mélange aléatoire des phrases du corpus ; extraction des caractéristiques (voir Tableau 2) ; entraînement sur 70% ; prédiction sur 30% ; évaluation par étiquette (*i.e.* emoji) et évaluation globale du classifieur.

	Exactitude	Précision	Rappel	Moyenne harmonique
<b>Caractéristiques</b>	<b>Lemmatisation*, 1 à 5-grammes, tf-idf</b>			
<b>Sac de mots</b>	48,17	89,65	50,93	64,04
<b>Sac de caractères</b>	55,12	92,19	57,63	70,13
<b>Caractéristiques</b>	<b>Lemmatisation*, 1 à 5-grammes, nombre de mots tf-idf, score négatif, score positif, exclamation, interrogation</b>			
<b>Sac de mots</b>	49,94	90,65	52,49	65,63
<b>Sac de caractères</b>	55,31	92,3	57,83	70,31
<b>Caractéristiques</b>	<b>Lemmatisation*, 1 à 5-grammes, humeur, nombre de mots tf-idf, score négatif, score positif, exclamation, interrogation</b>			
<b>Sac de mots</b>	54,31	88,63	58,13	69,56
<b>Sac de caractères</b>	<b>60,28</b>	<b>94,30</b>	<b>62,52</b>	<b>74,49</b>

Tableau 2 : Moyennes des performances de prédiction d'emojis sentimentaux avec *ML-Random Forest*. \*La lemmatisation est ignorée pour les sacs de caractères.

**Méthode d'évaluation.** Afin de mieux interpréter les résultats montrés dans le Tableau 2, il convient de préciser le type d'évaluation utilisé. Dans ces résultats l'exactitude (*accuracy*) correspond ici à la pertinence moyenne des emojis et non à celle du jeu d'étiquettes complet (*PowerSet*). Ainsi, si une phrase est étiquetée 😊 et 😞, chaque emoji est considéré séparément. Nous ne faisons donc pas d'évaluation par *PowerSet*. Par exemple, une phrase pour laquelle seul l'emoji 😞 a été prédit alors que

8. <http://scikit-learn.org/>

deux emojis étaient attendus, ne verra que l'exactitude de l'emoji correctement prédit augmenter. L'exactitude affichée dans nos résultats correspond donc à la moyenne des exactitudes de chaque emoji, pondérées par leur fréquence dans le corpus de test. C'est également le cas pour la précision et le rappel.

Les modèles de multi-étiquetage présentés dans le tableau 2 permettent de prédire les emojis d'une phrase avec une f-mesure maximale de 74,49%. Cette meilleure prédiction est obtenue en considérant les sacs de caractères avec des n-grammes allant de 1 à 5 caractères, l'humeur de l'utilisateur lors de l'écriture du message, le nombre de mots total de la phrase, les scores de polarité négatifs et positifs prédits par SentiStrength<sup>6</sup> (Thelwall *et al.*, 2010) la présence d'un point d'exclamation et celle d'un point d'interrogation. Le tout est normalisé par une vectorisation tf-idf et une lemmatisation.

**Analyse de l'impact de l'humeur.** L'humeur a un impact important sur la qualité de la prédiction avec un gain constant d'environ 4% en f-mesure. Cette donnée est propre au corpus utilisé, et semble particulièrement représentative du sentiment de l'utilisateur traduit ensuite par des emojis. Bien qu'elle soit très influente sur la qualité de la prédiction, l'humeur à elle seule ne peut suffire à prédire les emojis, le contenu textuel et son mode de représentation (*i.e.* sac de caractères/mots) doit y être associé.

**Analyse de l'impact de la polarité.** Les résultats montrent qu'une fois les scores de polarités négatives et positives ajoutés comme caractéristiques, les résultats du classifieur n'obtiennent pas un gain notable ; et ce bien qu'elles soient accompagnées du nombre de mots et de la présence ou non d'un point d'exclamation et d'interrogation. Ce résultat tend à montrer que l'analyse de sentiment en utilisant SentiStrength<sup>6</sup> (Thelwall *et al.*, 2010) n'est pas pertinente pour prédire les emojis sentimentaux. Il s'agit en d'un classifieur appris sur des données plus standardisées que les nôtres car issues de tweets et de commentaires MySpace.

**Analyse de l'impact des sacs de caractères/mots.** Le tableau 2 réfute l'idée d'associer systématiquement un mot avec un emoji. Avec les sacs de mots, les mots présents dans les représentations vectorielles de deux phrases sont comparés, ce qui nécessite qu'ils soient identiques, même après lemmatisation. La lemmatisation est effectuée à l'aide du *WordNetLemmatizer* de NLTK<sup>9</sup>. Avec l'approche par sac de caractères, la langue incorrecte ou non standardisée et les abréviations vont être considérées de manière implicite. Par exemple le "you" aura au moins un point commun avec son abréviation "u", ce qui n'est pas le cas dans un sac de mots. Bien entendu, d'autres mots auront ainsi un point commun avec "you", mais ceci explique probablement en partie la nette hausse de performance lors de l'utilisation de sacs de caractères.

**Caractéristiques discriminantes.** Pour analyser l'importance de chaque caractéristique, nous comparons le score d'importance calculé par le *ML-RandomForest* pour chaque test. Ces scores conférés après entraînement du classifieur confirment l'importance de l'humeur dans la prédiction des emojis. Seules cette caractéristique, et celle

9. <http://www.nltk.org/>

du nombre de mots, semblent avoir des scores élevés. Etant basées sur des sacs de caractères, les caractéristiques peuvent paraître souvent difficilement intelligibles. Pour une approche par sacs de mots avec humeur et polarités, les 5 caractéristiques les plus importantes sont l'humeur, le nombre de mots, le mot "u" (you), le mot "love" et le point (Tableau 2). Ces scores d'importance sont fonction du nombre total de caractéristiques calculées, d'où leur score relativement bas. En effet il convient de préciser qu'en raison de l'utilisation de différents n-grammes, le nombre de caractéristiques peut être très élevé et ainsi aller de 123 caractéristiques avec 1-gramme à 61268 caractéristiques en utilisant des n-grammes de 1 à 5 grammes. Ceci impacte directement la taille de la représentation vectorielle de la phrase ainsi que la valeur d'importance attribuée, sans pour autant changer la hiérarchie des caractéristiques.

	<b>Exactitude</b>	<b>Précision</b>	<b>Rappel</b>	<b>F-mesure</b>
<b>Baseline</b>	53,64	92,26	56,02	68,93
<b>1 à 5 grammes</b>	+1,02	+0,04	+1,1	+0,82
<b>Humeur</b>	<b>+5,59</b>	<b>+2,79</b>	<b>+5,04</b>	<b>+4,74</b>
<b>Nombre de mots</b>	+0,0	+0,10	-0,04	+0,0
<b>Scores positif et négatif</b>	+0,2	+0,01	+0,25	+0,19
<b>Exclamation</b>	+0,02	-0,06	+0,04	+0,01
<b>Interrogation</b>	+0,03	-0,06	+0,04	+0,02

Tableau 3 : Impact empirique des caractéristiques analysées isolément avec uniquement un sac de caractères en guise de baseline (moyennes obtenues pour 3 exécutions). \*Scores prédits avec SentiStrength

La grande majorité de ces caractéristiques sont peu discriminantes mais influencent les résultats une fois regroupées. Bien que les résultats visibles dans le tableau 2 montrent que celles-ci ne sont pas déterminantes, nous avons cherché à vérifier cette conclusion ainsi que les scores d'importance par une quantification de l'impact de chacune d'elles. Nous avons analysé le score d'importance des caractéristiques en considérant les caractéristiques ensemble. Nous complétons cette analyse par une étude de l'impact de chaque caractéristique prise isolément (Tableau 3). Par exemple, la ligne de l'humeur représente les performances de classification en considérant uniquement le sac de caractères et l'humeur. Les résultats sur cette ligne confirment l'importance de cette caractéristique et l'influence qu'elle peut avoir sur la performance de la prédiction. Mais également que les utilisateurs en font une utilisation pertinente pour le classifieur. Le tableau 3 permet ainsi de voir l'impact des caractéristiques isolées. Il s'agit donc d'une approche empirique dans laquelle la *baseline* est uniquement composée d'un sac de caractères.

Nous observons qu'augmenter les n-grammes semble apporter un peu de performance mais augmente énormément le nombre de caractéristiques créées. Ces n-grammes sont appliqués à l'aide du *TfidfVectorizer* de Scikit, et concernent la totalité des caractères y compris les espaces et ponctuations. Aussi, encore une fois l'humeur est confirmée comme étant la caractéristique la plus discriminante.

Enfin, il est intéressant de constater que contrairement aux scores d'importance attribués par le classifieur aux caractéristiques utilisées, le nombre de mots ne semble ici n'avoir aucune importance. Le score de polarité positive a seulement un impact minime mais tout de même plus élevé que le score de polarité négative, ce qui s'explique par le fait que ce dernier ne varie jamais. Ceci constitue une limite de l'utilisation de SentiStrength (Thelwall *et al.*, 2010) sur notre corpus.

## 5. Conclusion et perspectives de recherche

Nous avons présenté une approche de classification multi-étiquettes à l'aide de *ML-RandomForest* pour prédire les emojis possibles dans un message. Nous nous sommes limité au niveau de la phrase pour recommander les emojis à l'aide d'un indicateur d'humeur propre à notre corpus et de valeurs de polarité prédites. Nous avons analysé et quantifié l'impact des caractéristiques sur la prédiction des emojis, concluant ainsi qu'il est préférable d'utiliser des sacs de caractères et non de mots.

Il convient toutefois de souligner que le modèle d'analyse de sentiment utilisé n'est pas tout à fait adapté aux données, puisqu'il n'existe pas de tel modèle à notre connaissance. En utilisant SentiStrength (Thelwall *et al.*, 2010), nous avons utilisé, pour la prédiction de la polarité, un classifieur appris sur des données plus standardisées car issues de tweets et de commentaires MySpace, puisque nos données ne possèdent pas de valeurs de polarité vérifiées. Tous deux consistant des messageries sociales publiques, tandis que nous utilisons des données privées qui ne sont pas soumises à des limitations de taille, ou à l'obligation de rendre son message compréhensible par le plus grand nombre. La preuve en est de l'attribution d'une valeur négative à aucune phrase de nos corpus utilisés (Tableau 1), même si les valeurs positives prédites compensent ce déficit.

Pour la suite de nos travaux, il serait donc nécessaire de pallier à ce déficit en utilisant également d'autres méthodes d'analyse de sentiment basées sur des caractéristiques lexicales (Hamdan *et al.*, 2015). Ensuite nous pourrions étendre le contexte pris en compte à celui de la conversation en obtenant ainsi l'historique des messages, ce qui permettrait également d'orienter la recommandation en fonction du profil de l'utilisateur et des emojis qui y sont associés (Barbera, 2016).

## 6. Bibliographie

- Alm C. O., Roth D., Sproat R., « Emotions from text : machine learning for text-based emotion prediction », Association for Computational Linguistics, p. 579-586, 2005.
- Baldrige J., « The opennlp project », 2005.
- Barbera P., « Less is more ? How demographic sample weights can improve public opinion estimates based on Twitter data », 2016.
- Barbieri F., Ballesteros M., Saggion H., « Are Emojis Predictable ? », *arXiv preprint arXiv :1702.07285*, 2017.

- Chaffar S., Inkpen D., « Using a heterogeneous dataset for emotion analysis in text », *Canadian Conference on Artificial Intelligence*, Springer, p. 62-67, 2011.
- Eisner B., Rocktäschel T., Augenstein I., Bošnjak M., Riedel S., « emoji2vec : Learning Emoji Representations from their Description », *arXiv preprint arXiv :1609.08359*, 2016.
- Ekman P., « Facial-Expression-And-Emotion », 1993.
- Guibon G., Ochs M., Bellot P., « From Emojis to Sentiment Analysis », *Workshop Affect Companion Artificial Interaction (WACAI'16)*, Brest, France, 2016.
- Guibon G., Ochs M., Bellot P., « Prédiction automatique d'emojis sentimentaux », *CORIA*, 2017.
- Hamdan H., Bellot P., Bechet F., « Sentiment lexicon-based features for sentiment analysis in short text », *In Proceeding of the 16th International Conference on Intelligent Text Processing and Computational Linguistics*, 2015.
- Kelly C., « Do you know what I mean >:( : A linguistic study of the understanding of emoticons and emojis in text messages », 2015.
- Kralj Novak P., Smailovic J., Sluban B., Mozetic I., « Sentiment of Emojis », *PLOS ONE*, 2015.
- Lenhart A., « Teens, Technology and Friendships », 2015.
- Li W., Xu H., « Text-based emotion classification using emotion cause extraction », *Expert Systems with Applications*, vol. 41, n° 4, p. 1742-1749, 2014.
- Miller H., Thebault-Spieker J., Chang S., Johnson I., Terveen L., Hecht B., « “Blissfully happy” or “ready to fight” : Varying Interpretations of Emoji », 2016.
- Mishne G., « Experiments with mood classification in blog posts », *Proceedings of ACM SIGIR 2005 workshop on stylistic analysis of text for information access*, vol. 19, Citeseer, p. 321-327, 2005.
- Pavalanathan U., Eisenstein J., « Emoticons vs. Emojis on Twitter : A Causal Inference Approach », *arXiv preprint arXiv :1510.08480*, 2015.
- Peirce C. S., « Logic as semiotic : The theory of signs », 1902.
- Strobl C., Boulesteix A.-L., Kneib T., Augustin T., Zeileis A., « Conditional Variable Importance for Random Forests », *BMC Bioinformatics*, vol. 9, n° 1, p. 307, 2008.
- Team E. R., « Emoji Report », 2015.
- Thelwall M., Buckley K., Paltoglou G., Cai D., Kappas A., « Sentiment strength detection in short informal text », *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, vol. 61, n° 12, p. 2544-2558, 2010.
- Xie R., Liu Z., Yan R., Sun M., « Neural Emoji Recommendation in Dialogue Systems », *arXiv preprint arXiv :1612.04609*, 2016.

# Identification Semi-Automatique de Mots-Germes pour l'Analyse de Sentiment et son Intensité en Langue Anglaise et Arabe

**Amal HTAIT**

*Aix Marseille University, CNRS, ENSAM, Toulon University, LSIS UMR 7296,13397,  
Marseille, France.*

*Aix-Marseille University, CNRS, CLEO OpenEdition UMS 3287, 13451, Marseille,  
France.*

*amal.htait@lsis.org*

---

*RÉSUMÉ. Dans le but d'exploiter les opinions dans les revues des livres, cet article présente une classification à partir du sentiment contenu au sein du texte. Nous présentons une méthode d'identification de nouveaux mots-germes, appliquée aux micro-blogs, pour la prédiction de l'intensité de sentiments des mots en co-occurrence avec ces mots-germes. Ensuite, le calcul de similarités entre sentiments est appliqué en utilisant le plongement de mots (e.g. word2vec, GloVe) couplé à la mesure cosinus. Nous avons appliqué cette méthode sur la langue Anglaise et la langue Arabe. Les résultats montrent l'importance de l'utilisation de mots-germes "adaptés" aux tweets, ainsi que la taille et le prétraitement de corpus.*

*ABSTRACT. For the purpose of opinion exploring in books reviews, this article presents a sentiment classification of text content. First, we present a method to identify new sentiment similarity seed words, applied on micro-blogs, used for predicting sentiment intensity of other words and short phrases in co-occurrence. Then, for testing sentiment similarity, we use cosine similarity measure between the word embedding representations (e.g. word2vec, GloVe). We applied this method on English and Arabic languages. The experiments results highlight the importance of "adapted" for tweets seed words. In addition of the corpora size and its pre-treatment.*

*MOTS-CLÉS : Analyse de Sentiment Mots-germes, Twitter; Mesure de la Similarité, Plongement de mot, Word2vec, GloVe.*

*KEYWORDS: Sentiment Analysis, Seed words, Twitter, Similarity Measures, Word Embedding, Word2vec, GloVe.*

---

## 1. Introduction

L'analyse de sentiment et l'analyse d'opinion sont important, au niveau de la recherche et de l'industrie, pour exploiter la grande quantité d'information disponible dans les textes sur le WEB. La thèse, ayant le titre "L'Analyse de Sentiment au Service de la Recommandation des Livres", couvre l'étude et le développement d'un système d'évaluation des sentiments dans les revues et critiques en ligne des livres, pour permettre ensuite à optimiser la recommandation des livres.

Cet article décrit une des principales étapes de progrès dans ma thèse concernant la prédiction de l'intensité de sentiments reliée à un mot ou une phrase courte. Ce papier présente une des méthodes de classification du sentiment basée sur l'utilisation de lexiques, introduite par Turney et Littman (2003). La méthode est inspirée des méthodes à base de similarité sémantique. Elle est appliquée au champ d'analyse du sentiment comme une mesure de similarité du sentiment entre les mots. La méthode de similarité entre sentiments est exploitée sur les mots, mais aussi sur le plongement de mots (Tang *et al.*, 2014), ce qui est appliqué dans notre travail en utilisant *word2vec* (Mikolov *et al.*, 2013) et *GloVE* (Pennington *et al.*, 2014).

Dans ce travail, nous visons une méthode applicable dans plusieurs domaines (revues, tweets, etc) et dans plusieurs langues. Pour ce but, nous avons choisi les micro-blogs (tweets) pour tester la méthode, en Anglais et en Arabe, grâce à leur disponibilité en quantité et en multi-langue. Et pour le but de comparaison, nous avons choisi les mots-germes suggérés par Turney et Littman (2003), ces mots-germes ont été collectés manuellement en se basant sur les revues des restaurants. Le Tableau 1 contient les mots-germes suggérés par Turney et Littman et leurs nombres d'occurrences dans la ressource Sentiment140 (Go *et al.*, 2009) (une collection de 1,6 million de tweets étiquetés positifs ou négatifs selon les émoticônes) et dans notre collection de 300 Millions de tweets en langue anglaise provenant d'archive de Twitter<sup>1</sup>. Les valeurs montrent la différence entre le taux d'utilisation de ces mots, certains comme *Superior* sont rarement utilisés en général et plus spécifiquement dans les tweets, et donc ne peuvent plus être considéré comme mots-germes dans le domaine de micro-blogs.

Mots-germes Positif	good	nice	excellent	positive	fortunate	correct	superior
Sent140	77018	20897	837	1140	3451	1079	46
300M	7322831	1652764	104033	309420	91670	234448	27922
Mots-germes Négatif	bad	nasty	poor	negative	unfortunate	wrong	inferior
Sent140	27152	862	6248	364	2234	6388	31
300M	2503681	161241	308587	148656	74761	1168136	8323

Tableau 1. Les mots-germes suggérés par Turney et leurs nombres d'occurrences dans *Sentiment140* et dans nos *300M tweets*.

Notre contribution est présentée en deux sous-tâches, comme le montre la Figure 1 :

1. <https://archive.org/details/twitterstream>

1) Définir une méthode d'identification des mots-germes (seed words) positifs et négatifs, et l'appliquer à la langue Anglaise et Arabe à l'aide d'un corpus de tweets annotés en polarité (positif ou négatif).

2) Évaluer l'efficacité des nouveaux mots-germes par mesures de similitude entre le plongement de mots comme word2vec (Mikolov *et al.*, 2013) couplé à la mesure cosinus, en mesurant la similarité du sentiment entre les données de test et les mots-germes positifs/négatifs, pour prédire l'intensité de sentiment.

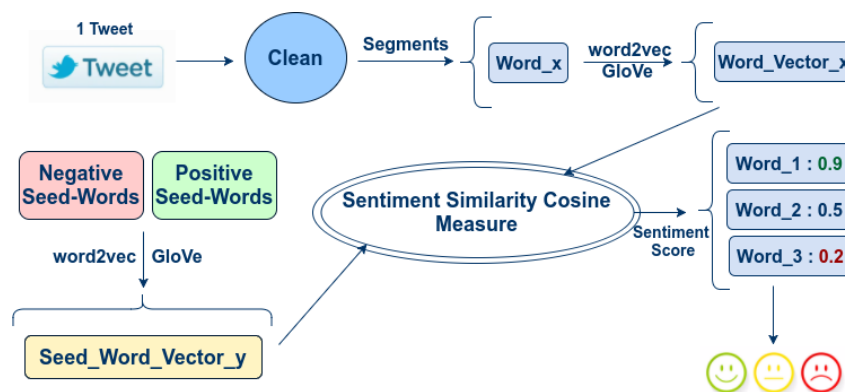


Figure 1. La description des sous-tâches de notre travail.

## 2. Travaux connexes

Les mots qui portent un sentiment positif ou négatif sont fondamentaux pour l'analyse de sentiment. La polarité de ces mots peut être extraite à l'aide d'une approche basée sur une liste de mots-germes de sentiment connus grâce à différentes approches de similarité appliquée au sentiment. Mais comment extraire les mots-germes ? Des approches ont sélectionné manuellement les mots-germes en se basant sur leur faible sensibilité au contexte (Turney et Littman, 2003) (Ju *et al.*, 2012). Ici, une méthode d'extraction de mots-germes est suggérée pour minimiser le taux de travail manuel, et pour offrir des mots-germes plus adaptés au domaine (tweets).

En ce qui concerne l'utilisation des mots-germes, Ju *et al.* (2012) ont travaillé sur une méthode semi-supervisée de classification des sentiments qui vise à former un classifieur avec un petit nombre de données pré-annotées (mots-germes). Mais toute méthode supervisée ou semi-supervisée nécessite de grands corpus pré-annotés, d'autres expériences utilisent des méthodes non supervisées, comme Turney (2003) et Kaji (2007) selon des mesures statistiques tel que le point-wise mutual information (PMI) pour la mesure d'association entre les mots ou les phrases. Kanayama et Nasukawa (2006) supposent que les mots de même polarité apparaissent dans le texte



consécutivement; ainsi ces mots pourraient être trouvés dans le contexte des mots-germes de même polarité. La même idée a été utilisée par Kiritchenko et al. (2014), dans le but de créer un ensemble de lexiques de mots portant des notions liées aux sentiments basé sur les tweets.

Plusieurs travaux récents ont démontré des améliorations significatives en termes de précision du modèle d'apprentissage grâce au paradigme de représentations vectorielles continues des mots (Collobert *et al.*, 2011), (Socher *et al.*, 2013). Cette approche a également été utilisée par Dos Santos et Gatti (2014), Tang et al. (2014) et d'autres en analyse de sentiment. Notre travail est basé sur le calcul de la similarité entre les plongement de mots, en utilisant les mots-germes, mais grâce à des méthodes non-supervisées.

Nous voudrions appliquer cette méthode sur plusieurs langues, donc nous avons choisi la langue Arabe, en plus de la langue Anglaise pour tester. La langage Arabe fait face à plus de défis que la langue Anglaise, puisque les mots peuvent avoir des significations transitoires en fonction de la position dans une phrase et le type de phrase (verbale ou nominale) (Farra *et al.*, 2010). Mais nous trouvons quand même des expériences intéressantes dans l'analyse du sentiment basé sur le lexique : El-Beltagy et Ali (2013) ont construit un lexique du sentiment basé sur un lexique de mots-germes construit manuellement de 380 mots. En utilisant ce lexique, avec le score d'intensité du sentiment assigné pour chaque valeur, ils ont pu calculer l'intensité du sentiment pour un ensemble de tweets en arabe (dialecte égyptien). Un autre article de Eskander et Rambow (2015) a présenté une liste de lexique du sentiment pour la langue arabe appelée SLSA où chaque valeur est associée à un score d'intensité du sentiment. Les scores ont été attribués en raison d'un lien créé entre l'annotation anglaise de chaque entrée arabe à un synset de SentiWordNet (Cambria *et al.*, 2010). Pour notre système en langue Arabe, nous suivons la même méthode que le système en langue Anglaise, en créant la liste des mots-germes pour l'utiliser avec la mesure de similarité cosinus entre les représentations vectorielle de mots.

### 3. Identification des mots-germes

Dans cet article, nous cherchons de nouveaux mots-germes plus adaptés aux tweets, afin de prédire l'intensité du sentiment d'autres mots ou phrases courtes. Dans ce but, nous considérons les étapes suivantes :

1) Pour trouver les mots-germes positifs, pour la langue Anglaise, la fréquence d'apparition de chaque mot est calculée dans le corpus Sentiment140 (Go *et al.*, 2009) de tweets positifs, et les top 100 mots les plus fréquents sont sélectionnés après avoir éliminé les mots outils ou vide (e.g. "the"). La même procédure est appliquée pour les mots négatifs dans le corpus des tweets négatifs. Pour la langue Arabe, la même méthode est appliqué en utilisant des corpus de tweets annotées en langue Arabe :

Arabic Sentiment Tweets Dataset<sup>2</sup> et Twitter data-set for Arabic Sentiment Analysis<sup>3</sup>.

2) Un filtrage est appliqué aux listes, pour éliminer les mots neutres (e.g. le mots "very" est trouvé beaucoup dans les tweets mais il n'a pas une polarité précise), et trouver les mots qui conservent leur polarité indépendamment du contexte. Dans ce but, pour la langue Anglaise, une sélection des 38 mots les plus pertinents est appliquée pour chaque polarité, et la liste de Turney (2003) est ajoutée à cette liste. La nouvelle liste des mots-germes en anglais adaptés aux tweet est présentée dans le Tableau 2. Pour la langue Arabe, pour filtrer la liste et éliminer les mots neutres, nous utilisons la liste de Mohammad et al. (2016). Cette liste contient 240 mots positifs et négatifs en arabe standard moderne, donc et en raison de la variété des dialectes arabes, l'utilisation de cette liste pour filtrer créera une liste de mots-germes en arabe standard moderne, mais adaptée aux tweets, et elle peut être utilisée indépendamment des dialectes. La liste de 20 mots-germes pour chaque polarité en arabe est comme indiqué dans la Figure 2.

<b>Positif</b>	love, like, good, win, happy, lol, hope, best, thanks, great, funny, haha, sunshine, god, amazing, kind, fun, beautiful, nice, cute, laugh, cool, perfect, sweet, superior, awesome, okay, special, hopefully, haven, glad, congrats, dance, wonderful, dreams, hehe, yay, positive, fantastic, enjoying, correct, fabulous, excellent, fortunate, relaxing,
<b>Négatif</b>	ill, fucking, shit, need, fuck, hate, bad, break, suck, hell, sucks, cry, damn, sad, wrong, tired, stupid, dead, pain, sick, alone, wtf, lost, inferior, worst, fail, evil, bored, scared, hurts, missed, poor, afraid, upset, broken, died, stuck, boring, crap, unfortunately, horrible, negative, nasty, sore, unfortunate.

Tableau 2. Les nouvelles listes de mots-germes en Anglais.

## 4. Expérimentations

### 4.1. Données

Afin de construire les modèles basés sur word2vec et Glove, un corpus de tweets de grande taille est essentiel. Pour ce but, nous avons utilisé environ 300 Millions tweets en langue Anglaise et 42 Millions tweets en langue Arabe provenant d'archive de Twitter<sup>4</sup>, au format JSON et de thématique général.

Dans un but de comparaison en langue Anglaise, le modèle word2vec de tweets réalisé par Godin et al. (2015) a été utilisé. Il s'agit d'un modèle avec une taille de vecteur égale à 400, et basé sur 400 Millions de tweets. Le modèle GloVe basé sur les tweets et réalisé par Pennington et al. (2014) a aussi été utilisé. La taille du vecteur pour ce modèle est de 200. Le modèle a été construit à partir d'un milliard de tweets dont les caractères comme le Hashtag et les parenthèses ont été éliminés. Alors qu'en langue Arabe, il n'existe pas un modèle word2vec ou GloVe disponible en ligne pour la comparaison.

2. <http://www.mohamedaly.info/datasets/astd>

3. <https://archive.ics.uci.edu>

4. <https://archive.org/details/twitterstream>

Positive	Translation	Negative	Translation
خير	benevolent	بال	wom
الجمال	faimess	بشع	ugly
كبير	grand	وسخ	filthy
أعلى	superior	جائر	unjust
حسن	well	عيب	flaw
عظيم	great	خطير	dangerous
رائع	wonderful	حقير	despicable
نادر	exceptive	بايخ	vapid
جمال	beauty	حزين	sad
كريم	generous	قذر	dirty
أعظم	greatest	هائل	massive
نبيل	noble	مقرف	nasty
جميل	beautiful	باطل	invalid
صالح	valid	تافه	trifle
دقيق	accurate	ملعون	damned
مشرق	bright	مرفوض	unacceptable
طيب	delicious	مسكين	poor
حلو	sweet	فاسد	corrupt
جيد	good	مؤسف	regrettable
عبقري	genius	فظيع	horrible

Figure 2. Les nouvelles listes de mots-germes en Arabe.

Pour évaluer la phase de l'analyse de sentiment, les données de la campagne d'évaluation de SemEval2016 Task7<sup>5</sup> sont utilisés. Ces données sont formées des liste de mots et phrases courtes en extraits par les organisateurs des tweets grâce au *Sentiment Composition Lexicon for Opposing Polarity Phrases*<sup>6</sup> et annotée par une valeur d'intensité du sentiment entre 0 et 1.

#### 4.2. Résultats

Le coefficient de corrélation de Spearman est utilisé pour évaluer le degré de similarité entre notre propre liste de résultats ordonnés et celle donnée par les organisateurs de SemEval Task7 (annotés manuellement). Pour la langue Anglaise, le Tableau 3 montre que l'utilisation de nouveaux mots-germes donne des meilleurs résultats que l'utilisation des mots-germes classique de Turney. En plus, l'utilisation du modèle de

5. <http://alt.qcri.org/semeval2016/task7/>

6. <http://www.saifmohammad.com/WebPages/SCL.html#OPP>

Godin et al. (2015) donne des meilleurs résultats que le notre et que celui de Pennington et al. (2014), puisqu'il est basé sur une plus grande nombre de tweets que le notre, et ils n'éliminent pas les Hashtags durant le pré-traitement des tweets comme dans (Pennington *et al.*, 2014). Pour la langue Arabe, nous n'avons pas d'autres listes de mots-germes ni des modèles word2vec ou Glove pour appliquer une comparaison, mais on a pu comparer nos résultats à ceux des participants de SemEval2016 Tâche 7. Le Tableau 4 montre qu'on n'a pas pu dépasser le meilleur résultat.

	word2vec		GloVe	
	Notre_Modèle	Godin	Notre_Modèle	Pennington
Mots-Germes de Turney	0.464	0.425	0.497	0.495
Mots-Germes Nouveaux	0.546	<b>0.642</b>	0.595	0.591

Tableau 3. Résultats des Test d'intensité de sentiments avec les nouveaux mots-germes en Anglais.

	Meilleur résultat	Nouvelle Méthode
SemEval2017 Tâche7	0.680	<b>0.569</b>

Tableau 4. Résultats des Test d'intensité de sentiments avec les nouveaux mots-germes en Arabe.

## 5. Conclusion et Travaux Futurs

Dans cet article, nous avons présenté une parti du travail de thèse avec une méthode d'identification de nouveaux mots-germes pour la langue Anglaise et Arabe, qui ont été utilisés pour la prédiction de l'intensité de sentiments des mots et de phrases. Nos données sont des tweets, et pour le calcul des similarités entre sentiments, deux méthodes ont été appliquées la mesure de similarité entre le plongement de mots avec word2vec et GloVe couplé à la mesure cosinus. Pour la langue Anglaise, Les résultats des tests ont mis en évidence l'importance du choix des mots-germes. Les meilleurs résultats atteints en utilisant le modèle word2vec de Godin et al. (2015) basé sur un corpus de 400 Millions de tweets. En se basant sur un même corpus de 300 Millions de tweets, l'utilisation de GloVe a donné de meilleurs résultats que word2vec. Pour la langue Arabe, notre modèle basé sur 42 Millions de tweets seulement, a donné des résultats prometteurs et une augmentation dans la dataset des tweets peut donner des résultats encore plus compétitive.

Afin d'améliorer ces résultats, nous pensons qu'il est d'abord nécessaire d'améliorer l'approche d'extraction et de groupement des mots-germes. Ensuite, il est nécessaire de collecter un corpus dépassant les 300 Millions de tweets pour la langue Anglaise et plus que 42 Millions pour la langue Arabe.

## Remerciements

Ce travail a été soutenu par le programme Français Investissements d'Avenir Equipex "A digital library for open humanities" d'OpenEdition.org.

## 6. Bibliographie

- Cambria E., Speer R., Havasi C., Hussain A., « SenticNet : A Publicly Available Semantic Resource for Opinion Mining. », *AAAI fall symposium : commonsense knowledge*, vol. 10, 2010.
- Collobert R., Weston J., Bottou L., Karlen M., Kavukcuoglu K., Kuksa P., « Natural language processing (almost) from scratch », *JMLR*, vol. 12, p. 2493-2537, 2011.
- dos Santos C. N., Gatti M., « Deep Convolutional Neural Networks for Sentiment Analysis of Short Texts. », *COLING*, p. 69-78, 2014.
- El-Beltagy S. R., Ali A., « Open issues in the sentiment analysis of Arabic social media : A case study », *Innovations in information technology (iit), 2013 9th international conference on*, IEEE, p. 215-220, 2013.
- Eskander R., Rambow O., « SLSA : A Sentiment Lexicon for Standard Arabic. », *EMNLP*, p. 2545-2550, 2015.
- Farra N., Challita E., Assi R. A., Hajj H., « Sentence-level and document-level sentiment mining for arabic texts », *Data Mining Workshops (ICDMW), 2010 IEEE International Conference on*, IEEE, p. 1114-1119, 2010.
- Go A., Bhayani R., Huang L., « Twitter sentiment classification using distant supervision », *CS224N Project Report, Stanford*, vol. 1, p. 12, 2009.
- Godin F., Vandersmissen B., De Neve W., Van de Walle R., « Multimedia Lab@ ACL W-NUT NER Shared Task : Named Entity Recognition for Twitter Microposts using Distributed Word Representations », *ACL-IJCNLP*, p. 146, 2015.
- Ju S., Li S., Su Y., Zhou G., Hong Y., Li X., « Dual word and document seed selection for semi-supervised sentiment classification », *ACM*, p. 2295-2298, 2012.
- Kaji N., Kitsuregawa M., « Building Lexicon for Sentiment Analysis from Massive Collection of HTML Documents. », *EMNLP-CoNLL*, p. 1075-1083, 2007.
- Kanayama H., Nasukawa T., « Fully automatic lexicon expansion for domain-oriented sentiment analysis », *EMNLP*, Association for Computational Linguistics, p. 355-363, 2006.
- Kiritchenko S., Zhu X., Cherry C., Mohammad S., « NRC-Canada-2014 : Detecting aspects and sentiment in customer reviews », *SemEval*, 2014.
- Mikolov T., Chen K., Corrado G., Dean J., « Efficient estimation of word representations in vector space », *arXiv*, 2013.
- Mohammad S., Salameh M., Kiritchenko S., « Sentiment Lexicons for Arabic Social Media », *LREC*, Portorož, Slovenia, 2016.
- Pennington J., Socher R., Manning C. D., « GloVe : Global Vectors for Word Representation », *Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*, vol. 14, p. 1532-1543, 2014.
- Socher R., Perelygin A., Wu J. Y., Chuang J., Manning C. D., Ng A. Y., Potts C., « Recursive deep models for semantic compositionality over a sentiment treebank », *EMNLP*, 2013.
- Tang D., Wei F., Yang N., Zhou M., Liu T., Qin B., « Learning Sentiment-Specific Word Embedding for Twitter Sentiment Classification. », *ACL*, p. 1555-1565, 2014.
- Turney P. D., Littman M. L., « Measuring praise and criticism : Inference of semantic orientation from association », *ACM*, vol. 21, n° 4, p. 315-346, 2003.

---

## Detection and characterization of geometric attributes on the rock bodies in the solar system

Nicole Christoff\*,\*\*

\*Aix-Marseille Université, CNRS, LSIS UMR 7296, France

\*\* Technical University of Sofia, Visual System Information Lab, Bulgaria

[nicole.CHRISTOFF@univ-amu.fr](mailto:nicole.CHRISTOFF@univ-amu.fr)

---

*ABSTRACT. One of the challenges of planetary science is the precise determination of the age of geological units at the surface of the different space objects in the Solar system. This allows the establishment of a chronology of geological events, experienced by different objects, which is necessary to understand their formation and evolution processes. In this article, we propose a new approach for detecting craters, the craters rim in particular. These specific features are typically round shape. The method we develop in this paper is based on an analysis of the DEM geometry, represented as a 3D triangulated mesh. Our approach contains two main steps: first, each vertex is labeled with the value of the mean curvature; second, this curvature map is injected into a neural network to automatically detect the shapes of interest. Detecting forms is more efficient using a two-dimensional map based on the computation of discrete differential estimators, than with the value of the elevation at each vertex. This approach significantly reduces the number of false negatives compared to previous approaches based on 2.5D data processing. We validate our method on DEMs of Mars, retrieved by a laser altimeter aboard NASA's Mars Orbiter spacecraft and combined with a database of craters identified manually. The latter is used in the method as a reference-learning base. As result of our method, we obtain 99.7% true positive detection.*

*KEYWORDS: Mars, 3D mesh, automated detection, machine learning*

---

## 1. Thesis subject

In recent years, several research groups have tried to propose an automatic method to estimate the age of different celestial bodies. In planetary science, the only way to estimate the age of planets, satellites and asteroids is by measuring the density and the sizes of the impact craters on their surface. Impact craters are ubiquitous features due to collisions with other celestial bodies such as meteorites and small asteroids, experienced since their formation. The topography of impact craters ranges from small, simple and bowl-shaped depressions to large, complex and multi-ringed impact basins (Pike, 1980). The crater is a subject to several erosion process after its formation, which gradually modifies its initial topography.

The aim of the thesis is the development of automatic methods for the detection of attributes (craters and rock blocks in particular) using a triangular mesh, which is essential for the measurement of their characteristics. The method will be applied to the Mars, Eros, Vesta and Lutetia asteroids and to the 67P Churyumov-Gerasimenko comet for which we have high-resolution three-dimensional meshes reconstructed from altimetry data and / or images obtained by the NEAR, DAWN and ROSETTA space probes.

In addition, a decisive point of the thesis work will be to combine these detection algorithms with recent and efficient learning techniques, such as neural networks, support vector machines (SVM) or Active and Shape Appearance models (AAM and ASM).

## 2. Related work

The manual identification of craters on 2D images is a well-established and standardized procedure among geologists (Barlow, 1988). The method is very safe (little or no false positives and false negatives), but highly time-consuming for large areas that contain tens or hundreds of thousands of craters. This method uses a Geographic Information System (GIS) software to geo-reference the craters and to measure their diameter (among other properties).

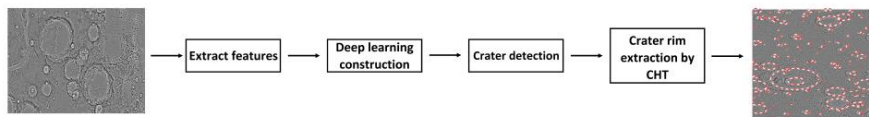
Several approaches have been used in the past to try to define the best CDA and the number of articles dedicated to this topic has increased dramatically in recent years. A few CDAs based on the detection of round shapes have been used: the circle fitting proposed by (Luo et al., 2011); (Urbach and Stepinski, 2009) highlighted and shadowed regions matching; (Sawabe et al., 2006) show a “shade and sunny” patterns in images with low sun angle; (Bandeira et al., 2012) developed an algorithm which requires a certain number of pixels to determine the shape and the texture of an image block.

A large number of CDAs based on DEM data have been developed by (Salamunićcar et al., 2012a), (Salamunićcar et al., 2012b), (Salamunićcar et al.,

2014) and (Magdalena-Benedito et al., 2012), which use the edge detection method to identify craters. Some works use “AdaBoost” machine learning approach (Viola and Jones, 2001). It is the most popular algorithm for face detection and it corresponds to image-based crater detection technique (Bandeira et al., 2012), (Cohen and Ding, 2013), (Jin and Zhang, 2014), (Magdalena-Benedito et al., 2012).

Our method is similar with that of (Di et al., 2014), who applied image processing techniques to Mars DEM data obtained by the Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA) instrument. In the first step, it uses a boosting algorithm to detect square features in the two-dimensional DEM. Three classes of features are used to train the detection algorithm: Haar-like, local binary pattern (LBP) and scaled Haar-like. In the second step, the round limit of the crater in the square region is identified using a local terrain analysis and the circular Hough transform (CHT). To test their method, they apply their algorithm to three local DEMs of Mars, extracted from the global MOLA data (NASA, 2011). They achieved a reasonable detection rate of 76% and a false positive rate of 13.23%. However, densely distributed, overlapped and heavily degraded craters could not be detected.

**Contribution:** We propose an efficient method for detection of crater rim. It relies on two main steps: first, each vertex is labeled with the value of the mean curvature, not to the elevation; second, this curvature map is injected into a neural network to automatically detect the shapes of interest. In addition, we propose a novel method for extracting craters zones.



**Figure 1:** Overview of our approach.

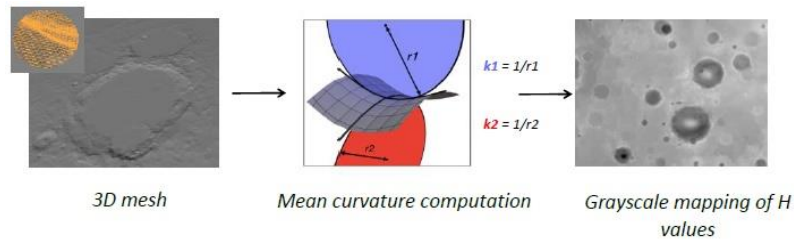
### 3. Algorithm for crater rim extraction

The diagram of the proposed algorithm is shown in Figure 1. It includes two main steps: first, each vertex is labeled by the value of the mean curvature  $H$  and second, that map of curvature is put on a dynamic neural network to perform an automatic detection of the shapes (regions) of interest.

#### 3.1. Data preprocessing

Figure 2 illustrates the data preprocessing steps. The input consist of MOLA data (NASA, 2011), an instrument on the Mars Global Surveyor (MGS), converted into a 3D mesh. The mesh contains the Cartesian coordinates of vertices and the connectivity information which defines the facets.





**Figure 2:** *Preprocessing step.*

This information allows us to calculate the mean curvature  $H$  at each point. After that, the absolute values smaller than 0.0001, receive new value 0. The values of mean curvatures are converted into a quantified gray-scale information  $H_G$  between 0 and 255 using the minimum and maximum curvatures  $H_{\min}$  and  $H_{\max}$ . After that, the values of  $H_G$  are represented as an image of  $3200 \times 1665$  pixels, which contains the gray-scale curvature  $H_G$ . The output image of this preprocessing step, hereafter called “ $H_G$ -image”, is the input of our algorithm.

The next step is the extraction of the areas from the craters, present in the catalog of Martian craters (Ito et al., 2015). To do this, we calculate the pixel coordinates of the center of the craters in the  $H_G$ -image from their geographic coordinates (longitude and latitude), stored in the catalog. We then convert their diameter, stored in kilometers in the catalog, in units of pixels of the  $H_G$ -image.

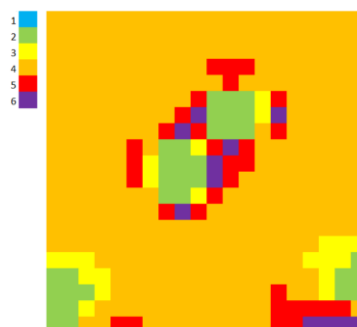
We extract a window with a size equal to 1.5 times the diameter of the crater in pixels. This window is then resampled bi-linearly to create a normalized window of  $20 \times 20$  pixels, hereafter called Area. In addition to these windows that are centered on the craters, we select the same number of image samples at random locations in order to build a training and testing set.

### 3.2. Computing features

We propose a novel method for extraction of craters. The information extracted from the Area, which can contain or not a crater, hereafter called newArea is a set of categorization features. This method is a fast algorithm used to detect the region of interest in the image. It consists in calculating Mean, Max and Min values for the given Area and after that each value of the Area is classified and labeled in six domains, as is shown on Table 1. The idea is to separate the Area and different type of craters into six zones, for any type of craters and its geological position (crater on the rim of another crater for example).

To define all domains, and to take in mind that  $H_G$  values are close, we are introducing a percentage  $P$ . After several test, we propose  $P$  to be between 2% and 3%, but not bigger than 4%. For this paper, all results are obtained with  $P = 3\%$ .

Domains	Label
$[Max, Max(1 - P))$	6
$[Max(1 - P), Mean(1 + P))$	5
$[Mean(1 + P), Mean)$	4
$[Mean, Mean(1 - P))$	3
$[Mean(1 - P), Min(1 + P))$	2
$[Min(1 + P), Min)$	1



**Table 1:** *Categorization limits and values*

**Figure 3:** *The newArea*

The method generates vectors newArea for each Area. The values reveal certain characteristics of a particular area of the image, such as edges or changes in texture.

This method comes from the following principle: the large craters are generally deeper than the smaller ones. The crater rim is higher than the bottom of the crater and the ratio between the rim and the bottom is bigger if it is a fresh crater than degraded one.

On Figure 3 we present the results of our method. This is a zone with four craters (two fresh craters in the middle and two degraded on left and right bottom of the zone). For the fresh ones, the craters rim receive values 5 red and 6 violet, 3 yellow is the transition from the rim and the bottom of the crater and with 2 green is the bottom of the crater. For degraded ones, the crater rim receive values 3 and 2 for the bottom. The surface of Mars is labeled with 4 orange.

### 3.3. Neural Network and classification

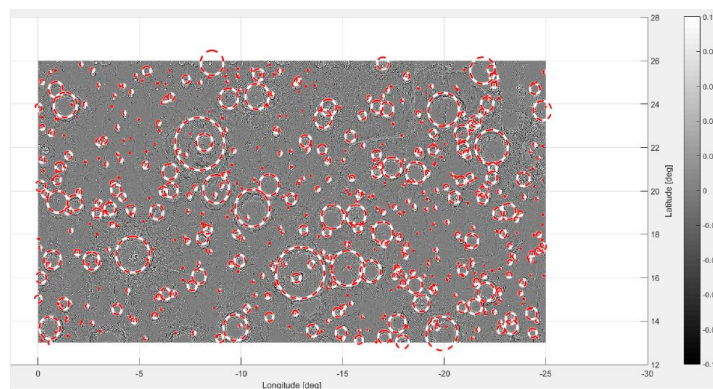
A neural network is used for the classification of test samples, as it is known to be particularly efficient to solve shape recognition problems. In order to allow a generic classification function reusable in other applications, we take two structure parameters. The first parameter contains all coordinates from the feature vectors. The second corresponds to the class label, indicated during a manual step. The activation function is the third network configuration setting. The conjugate back propagation gradient is used, which offers the best compromise between quality classification and performance according to Moller (1993).

### 3.4. Extraction of craters contour

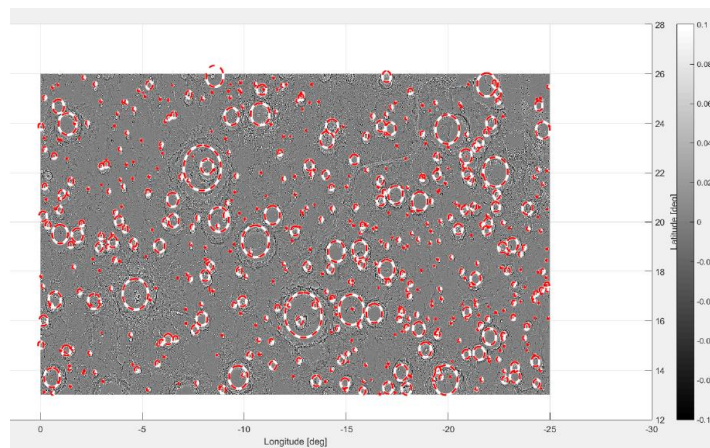
Once the classification is done, there is one last step of the proposed algorithm. From the samples who were classified as containing a crater, the coordinate's information, calculated from the feature vector, is saved. The next step is to apply

Circle Hough Transform (CHT) over the saved coordinates. The circle candidates are produced by voting in the Hough parameter space and then select the local maxima in a so-called accumulator matrix.

This allows us to dispense with most of the previously described preprocessing. Of course, it is possible to directly indicate this parameter, depending on the polarity of the object, which adapts the circle (the dark area of the image). We also report a circle of radius range, between 0.25 and 0.5 times, to consider the total width of the image. Data from the circle thus obtained (estimated coordinates of the center and diameter) are finally readjusted according to the coordinates of the DEM.



**Figure 9:** Craters manually detected on a patch on Mars.



**Figure 10:** Craters detected by our algorithm on the same patch on Mars.

For a visual comparison, the manually detected craters are displayed on Figure 9 using GIS software, and Figure 10 presents the craters obtained by our approach.

The identified craters for this area are stored in a text file containing the coordinates of the centers and the diameters.

This information permits to establish the training and classification of data sets (see (Robins and Hynek, 2012) concerning the impartiality of interpretation). This detection is generated in the first hand and the measures of the error rate are included in a second step. We use the quality factors of detection percentage  $D = 100TP/(TP + FN)$  and quality percentage  $Q = 100TP/(TP + FP + FN)$  developed by Shufelt (1999) and are used in many other CDAs to evaluate the performance of the method ( (Di et al., 2014), (Bandeira et al., 2012)). TP stands for the number of real detected craters, FP stands for the number detected craters that are not actual craters, and FN stands for the number of false negative detections (undetected real craters).

#### 4. Conclusion and future work

We have described a new approach for crater detection. This method is an original combination between differential estimators on a surface mesh and a machine learning algorithm in order to consolidate the results. This combination produces much better results than other methods, and this can undoubtedly be used to detect more generic round shapes on meshes, in other contexts. We obtain 99.7% as a measurement of crater-detection performance. The measurement of the overall algorithm performance is 99.7%.

As future work, we plan to test the algorithm on bigger areas with million vertices, and we plan to improve the detection of crater rim. This would allow to enhance the detection rate and to produce more robust results and a better visualization.

#### 5. References

- Bandeira, L., Ding, W., Stepinski, T., *Detection of sub-kilometer craters in high resolution planetary images using shape and texture features*. Advances in Space Research 49 (1), pp. 64–74, 2012.
- Barlow, N. G., *Crater size-frequency distributions and a revised Martian relative chronology*. Icarus 75 (2), pp. 285–305, 1988.
- Cohen, J., Ding, W., *Crater detection via genetic search methods to reduce image features*. Planetary and Space Science 53, pp. 1768–1782, 2013.
- Di, K., Li, W., Yue, Z., Sun, Y., Lui, Y., 2014. *A machine learning approach to crater detection from topographic data*. Advances in Space Research 54 (11), 2419–2429.
- Ito, S., Tan, H., Patricia, R., Bhalla, S., Vazhenin, A., Terazono, J., « *Digital Data Refinement for the Area of Crater on the Moon* ». 46th Lunar and Planetary Science Conference, p. 2052, 2015.

- Jin, S., Zhang, T., *Automatic detection of impact craters on Mars using a modified adaboosting method*. Planetary 99, pp. 112–117, 2014.
- Luo, L., Wang, X., Ji, W., Li, C., *Automated detection of lunar craters based on Chang'E-1 CCD data*. Image and Signal Processing (CISP) 2, pp. 883–887, 2011.
- Magdalena-Benedito, R., Martinez-Sober, M., Martinez-Martinez, J., Vila-Francés, J., Escandell-Montero, P., *Intelligent Data Analysis for Real-Life Applications: Theory and Practice*. IGI Global, 2012.
- Moller, M. F., *A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning*. Neural Networks 6 (4), pp. 525–533, 1993.
- NASA, *NASA Goddard Space Flight Center. Planetary Laser Altimetry* (Public domain material from NASA Goddard Flight Center web site), 2011.
- Pike, R. J., *Control of crater morphology by gravity and target type - mars, earth, moon*. Vol. 11. pp. 2159–2189, 1980.
- Robins, S., Hynek, B., *A new global database of Mars impact craters greater than 1 km: Catabase creation, properties, and parameters*. gr 117 (E05004), 2012.
- Salamunićcar, G., Lončarić, S., Grumpe, A., Wöhler, C., *Hybrid method for crater detection based on topography reconstruction from optical images and the new LU78287GT catalogue of Lunar impact craters*. Planetary and Space Science 53 (12), pp. 1783–1797, 2014.
- Salamunićcar, G., Lončarić, S., Mazarico, E., *LU60645GT and MA132843GT catalogues of Lunar and Martian impact craters developed using a Crater Shape-based interpolation crater detection algorithm for topography data*. Planetary and Space Science 60 (1), pp. 236–247, 2012a.
- Salamunićcar, G., Lončarić, S., Mazarico, E., Vinković, D., Vučina, D., Gomerčić, M., Pahnc, I., VojkoVić, M., Hercigonja, T., *Test-field for evaluation of laboratory craters using a Crater Shape-based interpolation crater detection algorithm and comparison with Martian and Lunar impact craters*. Planetary and Space Science 71 (1), pp. 106–118, 2012b.
- Sawabe, Y., Matsunaga, T., Rokugawa, S., *Automated detection and classification of lunar craters using multiple approaches*. Advances in Space Research 37, pp. 21–27, 2006.
- Shufelt, J., *Performance evaluation and analysis of monocular building extraction from aerial imagery*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 21 (4), pp. 311–326, 1999.
- Urbach, E., Stepinski, T., *Automatic detection of sub-km craters in high resolution planetary images*. Planetary and Space Science 57, pp. 880–887, 2009.
- Viola, P., Jones, M., *Rapid object detection using a boosted cascade of simple features*. computer 1, pp. I-511–I-518, 2001.

---

## Trajectory analysis and behavior detection ( Smart city as its main application)

**Feda Almuhsen\***

\* Aix-Marseille Université, CNRS, LSIS, Marseille, France  
feda.almuhsen@lsis.org

---

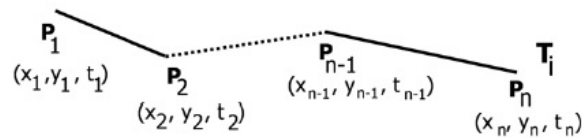
*ABSTRACT. With the rapid increase in the use of location technologies such as Global Positioning Systems applications (GPS), Global System for Mobile Communication (GSM) networks, etc., large amount of spatial-temporal datasets will be collected and stored in servers this trajectory data, which is a trace of moving objects will be analyzed later on. where trajectory can be represented as a sequence of time stamped geographical locations. This data is dynamic as it evolves in time and related to real activity. The encouragement for mining trajectory datasets is the possibility of realizing inherent information, and helping to gain understanding of the fundamental phenomena of movement. Mining frequent patterns in trajectories is one of the important technique that can help to analyze and predict the movement of objects and it has many important applications in mobility understanding, smart transportation, urban planning, traffic flow control,..etc. Therefore, in this report, our objective is to visualize moving objects behaviors in a specified spatial zone.*

*KEYWORDS: Trajectory analysis, Behavior extraction*

---

## 1. Introduction

The ability to track the movement in a city from GPS systems on cars, smart phones,..etc, and discover patterns associated within these movements are essential and offers an opportunity for developing better applications, such as intelligent transportation systems, human mobility understanding and urban planning applications that provides a better services for citizens in city (Pan *et al.*, 2013). These tracked movements by nature, are spatio-temporal data, where the sequence of geographical locations of a moving object on a defined period of time is called trajectory.



**Figure 1.** Trajectory example

A set of  $n$  moving object trajectories can be notion as  $Trjs = \{Trj_1, Trj_2, \dots, Trj_{n-1}, Trj_n\}$ , where each trajectory  $Trj_i$  has a different length, and can be defined as a sequence of geographical points returned at a specific time stamp  $t$  see Figure 1 (Zheng, 2015). Recently, a lot of studies devoted to discuss GPS trajectory analysis concepts, models, and tools and providing extensive details about it (Zheng, 2015). Other works (Hu *et al.*, 2015; Bao *et al.*, 2015) benefit from trajectory analysis and mining techniques to build better social networks and travel recommendation systems. In this research our objective is to visualize mobility behaviors from trajectory data using pattern extraction method. The rest of the paper is organized as follows. Related works are discussed in Section 2. Trajectory data mining method discussed in Section 3. Some of the experimental results are presented in Section 4. Finally, we conclude and present some future work.

## 2. Related work

In this section we briefly explain the background concepts and the related work that form the basis of our research, we define the concept of trajectory data mining in the broader domain of data mining. We won't discuss these concepts in detail but interested readers can follow the corresponding references indicated in this section.

Trajectory data mining aims to discover interesting knowledge (e.g., patterns) from the data and its two goals can be specified as prediction and description, where prediction consists in using some variables in the data to determine unknown or future values of other variables of interest, while description focuses on finding human-interpretable structures describing the data. The common methods applied on trajectory data mining can be divided into two categories: primary methods and secondary methods. Given a

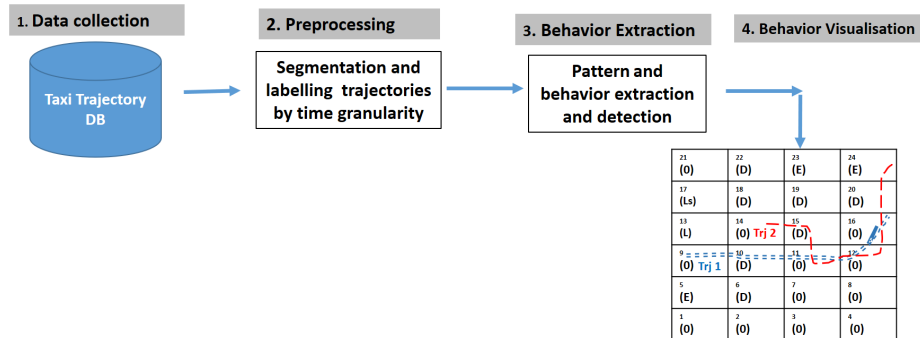
trajectory dataset, the primary methods aim to categorize the trajectories based on their properties, for example, clustering and classification methods. On the other hand, secondary mining methods are composite methods in the sense that they apply a sequence of primary mining methods, classical statistical methods or a combination of the two such as pattern mining, outlier detection, and prediction methods. Generally, secondary mining methods are used to analyze the spatial, temporal, or spatio-temporal data of the individual trajectories, within their categories or between categories. As mentioned before, our concern here is in trajectory pattern mining where this method main objective is to discover and describe the movement hidden pattern in trajectories by providing useful information about when and where this movement occurs and the object involve in it. Movement patterns have been discussed in (Dodge *et al.*, 2008) Likewise, several methods have been developed for mining these patterns where it can be categories into : repetitive pattern mining, frequent pattern mining, and group pattern mining. Repetitive pattern mining applies basically on trajectories of a single moving object while frequent pattern mining applies on trajectories of multiple moving objects but in a relative time. Group pattern mining applies to trajectories of multiple objects but the movement is considered in an absolute time; where the objects move together. Repetitive pattern mining concerns regular movement patterns such as the movement which is repeated every day. Recently, There is a growing interest in this domain, authors in (Lin and Hsu, 2014) provided a survey that discusses recent results on mining mobility patterns from GPS data. In (Giannotti *et al.*, 2007), authors defined T-patterns (Trajectory patterns) as concise descriptions of frequent behaviors, in terms of both space (i.e., the regions of space visited during movements) and time (i.e., the duration of movements). They also proposed a method for extracting them using a sequential pattern mining algorithm. In (Lee *et al.*, 2009), the authors proposed a graph-based mining algorithm for mining the frequent trajectory patterns for spatio-temporal database, also different types of spatio-temporal patterns were discussed in (Aggarwal and Han, 2014; Zheng and Zhou, 2011). Alternatively, (Lee *et al.*, 2015) proposed a unifying framework of mining trajectory patterns of various temporal tightness that includes initial pattern discovery and granularity adjustment.

Many tools and frameworks have also been developed to help in analyzing trajectory. An interesting tool, called *MoveMine* introduced in (Li *et al.*, 2010), integrates functions including moving objects and trajectory mining.

### 3. Moving Object Trajectories Behavior visualisation

This work discuss the process of visualizing moving objects behavior in spatial zone. Figure 2 shows the overall framework. First, large amount of trajectory data is collected from sensors.etc. The preprocessing step consists of segmenting and labeling trajectories according to time granularity. It is important to mention that preprocessing is performed on raw trajectory data in order to overcome the size problem from the fact that the trajectories points returns every 5 seconds, also to simplify and reduce the number of points with negligible error and by applying some normaliza-



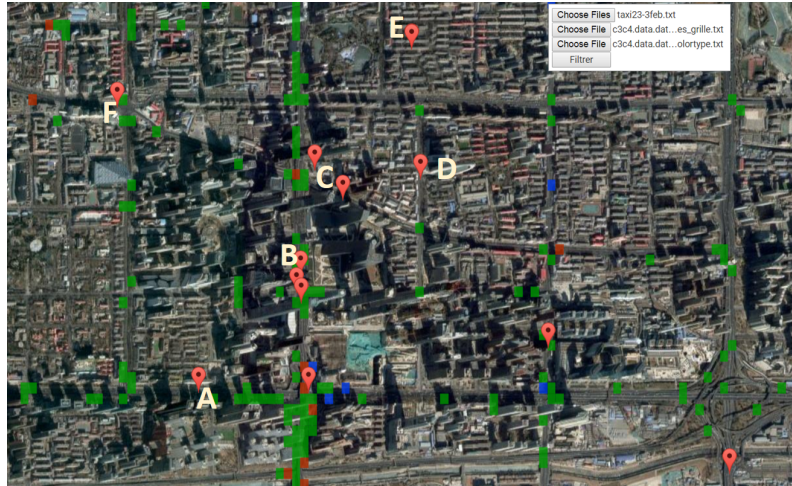


**Figure 2.** Overview of the proposed approach

tions methods. In addition to that, this step includes detecting and removing out of range data and to recognize stop points where an object stays a relatively large time without leaving a spatial area. In the time segmentation step, each trajectory on the dataset will be segmented according to time granularity value. Finally step 3 and 4 consists of extracting frequent patterns and detecting behaviors then visualize it on real map zone, note that those patterns detected reflects the behavior of users who have generated the corresponding trajectories during the studied time.

#### 4. Experiments

In order to perform our experiment, we apply our method on real data set collected by Microsoft Research Asia. This data has been used in (Yuan *et al.*, 2011). The data set contains 10,357 Taxi GPS trajectories during the period of one week. Each file of the data set contains the trajectories of one taxi. Each line in a file has the following fields: TaxiID, Date, Time, Longitude and Latitude. The coordinate system used for the returned longitude latitude was the Decimal Degree coordinate system (DD). The protocol can be summarized as follows, we process the data , time granularity used = 12 hours (half day). Detected behaviors were visualized on a real map during a period of one week. Figure 3 shows a behavior tagged map for Beijing railway station and second ring zone, also a projected taxi journey (*A* to *E*) points. where each color defines a certain moving objects behavior.



**Figure 3.** Example of zone behavior visualization

## 5. Conclusion

Trajectory analysis is a challenging problem especially in the urban context. The automatic generation of on demand reports, that aggregate results of trajectory analysis and the visualization of mapped information, is an important issue that will support urban management, adapted policy definition, public security, etc.

In this work, we have proposed a method based on pattern mining extraction to detect behaviors. Our method generates city maps at different granularities values. Therefore, refined analysis can be performed for a given situation. Experimental results using real-world GPS trajectory data have shown the efficiency of the proposed method and the usefulness of the resulted maps. In future work, we will extend our system and apply classification methods for trajectories passing a city zone.

## 6. References

- Aggarwal C. C., Han J., *Frequent pattern mining*, Springer International Publishing, 2014.
- Bao J., Zheng Y., Wilkie D., Mokbel M., "Recommendations in location-based social networks: a survey", *GeoInformatica*, vol. 19, n<sup>o</sup> 3, p. 525-565, 2015.
- Dodge S., Weibel R., Lautenschütz A.-K., "Towards a taxonomy of movement patterns", *Information visualization*, vol. 7, n<sup>o</sup> 3-4, p. 240-252, 2008.
- Giannotti F., Nanni M., Pinelli F., Pedreschi D., "Trajectory Pattern Mining", *ACM SIGKDD Int. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining*, San Jose, California, USA, p. 330-339, August, 2007.

- Hu Y., Yang Y., Huang B., "A comprehensive survey of recommendation system based on taxi GPS trajectory", *Int. Conf. on Service Science*, Weihai, China, p. 99-105, May, 2015.
- Lee A. J., Chen Y.-A., Ip W.-C., "Mining frequent trajectory patterns in spatial-temporal databases", *Information Sciences*, vol. 179, n° 13, p. 2218 - 2231, 2009.
- Lee J.-G., Han J., Li X., "A unifying framework of mining trajectory patterns of various temporal tightness", *IEEE Trans. on Knowl. and Data Eng.*, vol. 27, n° 6, p. 1478-1490, 2015.
- Li Z., Ji M., Lee J.-G., Tang L.-A., Yu Y., Han J., Kays R., "MoveMine: Mining Moving Object Databases", *ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of data*, Indianapolis, Indiana, USA, p. 1203-1206, June, 2010.
- Lin M., Hsu W.-J., "Mining GPS data for mobility patterns: A survey", *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 12, p. 1 -16, 2014.
- Pan G., Qi G., Zhang W., Li S., Wu Z., Yang L. T., "Trace Analysis and Mining for Smart Cities: Issues, Methods, and Applications", *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, n° 6, p. 120-126, June, 2013.
- Yuan N. J., Zheng Y., Xie X., Sun G., "Driving with Knowledge from the Physical World", *ACM SIGKDD Int. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining*, San Diego, California, USA, p. 316-324, August, 2011.
- Zheng Y., "Trajectory Data Mining: An Overview", *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.*, vol. 6, n° 3, p. 29-41, 2015.
- Zheng Y., Zhou X., *Computing with spatial trajectories*, Springer Science & Business Media, 2011.

---

## L'analyse des réseaux sociaux comme service

**Meryem Bendella**

*Aix-Marseille Université, CNRS, ENSAM, Université de Toulon  
LSIS UMR 7296, 13397, Marseille, France*

*meryem.bendella@lsis.org*

---

*RÉSUMÉ. L'analyse de l'information provenant des réseaux sociaux tels que Twitter joue un rôle important pour la société moderne qui apporte de nouveaux défis. En effet, l'analyse de telles données est devenue une tâche très importante dans le domaine de fouille de données. De ce fait, plusieurs recherches sont menées pour la classification de ces données, par exemple, catégoriser des topics intéressants, ou détecter la polarité, dans une base de données textuelles (tweets). Cependant, les tweets sont représentés, le plus souvent, par des phrases non structurées, contaminés par des erreurs et peuvent utiliser des métaphores, des mots d'argot et certaines expressions familières. L'extraction d'une connaissance issue de cette base de données massive est un problème crucial. Dans ce travail, nous exploitons des méthodes de fouille de données pour analyser les tweets et générer ainsi les métadonnées qui seront à la base du développement de plusieurs fonctionnalités applicatives.*

*ABSTRACT. Analyzing information from social networks such as Twitter has an important role for the modern society that brings new challenges. In fact, the analysis of such data has become an important task in data mining field. Hence, several research are carried out for classification of such data, for example, categorizing interesting topics, or detecting polarity, in a textual database (tweets). However tweets are generally represented by unstructured phrases, contaminated by errors and may use metaphors, slang terms, and colloquialisms. Extracting knowledge from this large database is a crucial issue. In this work, we explore data mining methods to analyze tweets and generate the metadata which will be the basis for the development of several application functionalities.*

*MOTS-CLÉS : réseaux sociaux, Twitter, fouille de données, classification.*

*KEYWORDS: social networks, Twitter, data mining, classification.*

---

## 1. Introduction

L'émergence du Web 2.0 (Stan *et al.*, 2014), a mis en évidence un ensemble d'applications universelles telles que les wikis (wikipedia), les services de social bookmarking (del.icio.us), les sites de partage de médias (Youtube, Flickr) et les sites de réseaux sociaux (Facebook, LinkedIn, Twitter, etc.). Dans ce contexte, il devient facile pour les utilisateurs de générer, diffuser et partager des données de nature très différente : commentaires, photos, vidéos, avis, profiles, etc. Nous sommes alors devant des sources de données accessibles en ligne et évoluent de façon continue en fonction des événements du monde réel. En effet, la valorisation des données web disponibles est à la base du développement d'applications innovantes et de la compréhension des nouveaux phénomènes (Nachouki et Quafafou, 2011).

Récemment, l'analyse des données provenant des réseaux sociaux est devenue une tâche très importante dans le domaine de fouille de données. Certaines de ces données sont disponibles aux chercheurs pour leurs études. Twitter a attiré une attention remarquable ces dernières années, où les gens s'intéressent de plus en plus à ce réseau social et l'utilisent pour partager des informations, des nouvelles et donner des avis sur divers sujets (Kwak *et al.*, 2010).

Actuellement, des milliers d'utilisateurs de Twitter postent des messages sur des sujets d'activités ou d'événements quotidiens, et bien d'autres. Cependant, quand il y a des événements qui se déroulent, les utilisateurs interagissent sur les réseaux sociaux comme sur Twitter. De ce fait, plusieurs travaux de recherches sont menés pour le suivi des événements dans le cadre de classification (Azam *et al.*, 2015), la détection des événements (Zhou et Chen, 2014) dans des applications réelles telles que la gestion de crise et la prise de décision (Pohl *et al.*, 2013), et bien d'autres.

D'autre part, la disponibilité croissante de la technologie d'acquisition de la localisation, par exemple *GPS*, permet aux personnes d'ajouter la dimension « lieu » aux réseaux sociaux existants. Cette dimension de localisation ramène les réseaux sociaux au monde réel en comblant le fossé entre le monde réel (physique) et les services des réseaux en ligne. Cette information de localisation peut nous aider à connaître où se produisent les événements, où sont les nouveaux événements susceptibles de se produire, à identifier et analyser les endroits des sujets émergents, etc (Giridhar *et al.*, 2015) (Guille et Favre, 2015) (Sakai et Tamura, 2015).

Dans cet article, nous proposons une méthode supervisée d'analyse des données provenant de Twitter. En effet, nous exploitons des méthodes de fouille de données pour analyser les tweets collectés et générer ainsi les métadonnées qui seront à la base du développement de plusieurs fonctionnalités applicatives telles que la détection des tweets suspects. Ces métadonnées sont représentés par des topics, où un topic est une distribution de mots. Plus précisément, nous utilisons le modèle "Latent Dirichlet Allocation" introduit dans (Blei et Lafferty, 2003) pour extraire des topics latents dans un corpus de tweets.

Ce papier est organisé de la manière suivante : Dans un premier temps, nous présentons un état de l'art sur les approches d'analyse des réseaux sociaux (section 2), le processus de l'analyse de données provenant de Twitter est présentée dans la section 3. Nous présentons par la suite la géolocalisation et la visualisation des tweets (section 4). Nous terminons par une conclusion et quelques perspectives (section 5).

## 2. État de l'art

Nous pouvons distinguer deux grandes catégories des données provenant des réseaux sociaux pour l'analyse : réseaux et texte. La première est basée sur la compréhension de la structure et de l'évolution du réseau (Kumar *et al.*, 2006), où l'on applique la théorie des graphes (Wasserman et Faust, 1994), (Scott, 2000) sur les représentations graphiques, afin de démêler certaines fonctionnalités du réseau, d'identifier les acteurs ou les sujets les plus importants dans un réseau social et de découvrir une structure des communautés. Dans cette représentation de modèle graphique, les nœuds représentent les utilisateurs et les arcs représentent des liens explicites entre eux.

La deuxième catégorie, basée sur le contenu pour mieux comprendre de quoi les utilisateurs parlent. Ce contenu englobe les messages de microblogs ainsi que les profils d'utilisateurs sur les réseaux sociaux et les pages Web. L'analyse du contenu peut conduire à la diffusion de l'information (Suh *et al.*, 2010) (Guille, 2014), à la classification et l'analyse des événements (Azam *et al.*, 2015) (Atefeh et Khreich, 2015), à l'analyse des sentiments et des opinions (Ravi et Ravi, 2015) (Kouloumpis *et al.*, 2011), et bien d'autres domaines importants dans la fouille de données provenant de Twitter.

De nombreuses approches ont été proposées pour l'analyse de données provenant de Twitter, où l'on trouve les méthodes supervisées et non supervisées. Le volume de ces données est en constante augmentation. En effet, une solution plus abordable est de capturer les connaissances sur les discussions abordées par les utilisateurs. Une des techniques à utiliser est de détecter les thèmes (topics) abordés par les utilisateurs dans leurs Tweets. Ce processus est défini par l'extraction automatique des topics dans des textes (tweets), ce que nous détaillons dans la section 3.

## 3. Analyse de données provenant de Twitter

### 3.1. Collecte des données

Grâce aux APIs<sup>1</sup> publics de Twitter qui nous permettent d'avoir un accès direct aux données, nous pouvons collecter un gros volume de données publiquement disponibles sur Twitter. Pour notre expérimentation, nous avons interrogé la base de donnée de

1. <https://dev.twitter.com/docs>

Twitter par le biais d'une API publique appelée Streaming API<sup>2</sup> pour collecter les tweets postés en temps réel. Ces tweets ont été collectés en fonction de mots clés que nous avons défini. Ces derniers représentent des hashtags apparaissant dans les tweets. Au total, nous avons obtenu environ 150 000 tweets publics, du 1er au 5 Février 2017. Le corpus construit est divisé en deux parties : la première contient 80% du corpus et utilisée pour l'extraction des *topics* (données d'entraînement), tandis que la seconde contient 20% et utilisée pour le test (jeu de données de test).

### 3.2. Pré-traitement

Les données textuelles collectées peuvent présenter certaines caractéristiques qui entravent le processus d'analyse, en présence de données très bruitées. Des pré-traitements sont donc souvent nécessaires. Ces données textuelles doivent être épurées afin de réduire le bruit contenu dans le corpus de tweets. Ce traitement supplémentaire peut inclure l'élimination des mots outils, la gestion des émoticons et de la ponctuation, la lemmatisation, la représentation des tweets, etc.

### 3.3. Extraction des topics

Les modèles probabilistes de thème (*Probabilistic topic models*) sont un moyen de traiter de gros volumes de données en découvrant leur structure thématique cachée. Leur valeur ajoutée est qu'ils peuvent également traiter des données textuelles qui n'ont pas été catégorisées manuellement par les humains. Le concept de « *topic* » consiste à découvrir des clusters de données textuelles sur des sujets similaires, où chaque *topic* est caractérisé par une distribution sur les mots. Ces clusters sont obtenus en calculant les occurrences de mots émergents apparaissent fréquemment ensemble dans différents textes indépendants. Les approches récentes de la modélisation du contenu des données ont considéré que la distribution de probabilités par rapport aux mots dans un document est un mélange de *topics*, où chaque *topic* est une distribution de probabilités sur les mots (Blei et Lafferty, 2003) (Griffiths et Steyvers, 2004). De nombreux algorithmes ont été proposés pour estimer les paramètres des modèles de thème : Algorithme espérance-maximisation EM (Hofmann, 1999), EM Variationnel (Blei et Lafferty, 2003), et Échantillonnage de Gibbs (Griffiths et Steyvers, 2004). Dans ce travail, nous avons utilisé l'algorithme *Échantillonnage de Gibbs*.

### 3.4. Classification des tweets

Après avoir calculé les *topics*, où nous avons obtenu un score de probabilité pour chacun des mots d'un topic, nous voulons comprendre combien un topic  $T_i$  est normal ou suspect. En effet, il s'agit de calculer la valeur de  $\alpha_i \in [0, 1]$ , qui représente le degré

2. <https://dev.twitter.com/streaming/overview>

Topic1		Topic5	
Mot	Probabilité	Mot	Probabilité
bomb	0.040	love	0.211
kill	0.033	happy	0.095
drop	0.031	day	0.051
symptom	0.019	birthday	0.035
Syria	0.017	hope	0.029
clear	0.010	smile	0.018
great	0.007	great	0.014
raid	0.007	enjoy	0.009

**Tableau 1.** Illustration de deux topics, où chacun est associé à 8 mots.

de suspicion de  $T_i$  et  $\beta_i \in [0, 1]$  son degré de normalité. Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé des algorithmes de classification supervisée, pour classer ces *topics* et les tweets par la suite. Ces tweets, ont été classé en fonction des topics, donc nous cherchons à quel topic le tweet appartient le plus. Autrement dit, un tweet  $t$  est classé *suspect* si  $t \in T_i$  et  $\alpha_i > \beta_i$ . Il est normal si  $t \in T_i$  et  $\alpha_i < \beta_i$ .

Un exemple de topics « Topic1 » « Topic5 » classés suspect et normal respectivement, est donné par le tableau 1.

#### 4. Géolocalisation et visualisation des tweets

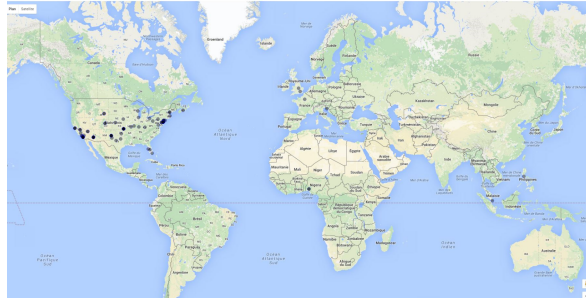
L'exploitation des données de géolocalisation a récemment pris une attention croissante. Ces données spatiales ainsi les techniques de visualisation peuvent nous aider à analyser efficacement et à comprendre comment et pourquoi les utilisateurs interagissent sur Twitter. Par exemple, le suivi de l'évolution d'une information donnée (ou des sujets) dans l'espace. Il existe de nombreuses stratégies pour identifier la géolocalisation d'un tweet. Cette information peut être disponible dans le cas où la fonction *localisation* du post publié est activée. Nous avons géolocalisé quelques tweets collectés (localisation est disponible) selon un sujet donné, et avons visualisé le résultat sur une map (figure 1).

#### 5. Conclusion et perspectives

L'idée principale de cet article est d'utiliser les concepts de probabilité dans l'analyse des données provenant de Twitter. En utilisant le principe d'extraction des topics nous avons pu identifié les métadonnées qui seront à la base de classification des tweets pour la détection des tweets suspects qui est notre première contribution de cette thèse <sup>3</sup>. En outre, cette analyse de données provenant des réseaux sociaux et uti-

3. Nous avons un article accepté dans une conférence internationale.





**Figure 1.** Exemple de visualisation des tweets pour le suivi d'une information donnée.

lisant le concept de localisation nous permet ainsi d'étudier, d'une part, l'identification des régions de forte densité des utilisateurs par rapport aux files de discussions parlant d'un événement à titre d'exemple, et d'autre part, la prédiction de la localisation d'un tweet, qui reste l'une des tâches à réaliser pour nos travaux futurs.

## 6. Bibliographie

- Atefeh F., Khreich W., « A Survey of Techniques for Event Detection in Twitter », *Comput. Intell.*, vol. 31, n° 1, p. 132-164, February, 2015.
- Azam N., Jahiruddin, Abulaish M., Haldar N. A. H., « Twitter Data Mining for Events Classification and Analysis », *2015 Second International Conference on Soft Computing and Machine Intelligence (ISCM)*, p. 79-83, Nov, 2015.
- Blei D. N. A. J. M., Lafferty J., « Latent Dirichlet allocation », *Journal of Machine Learning Research*, vol. 289, p. 993-1022, 2003.
- Giridhar P., Abdelzaher T., George J., Kaplan L., « Event localization and visualization in social networks », *2015 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHP)*, p. 35-36, April, 2015.
- Griffiths T., Steyvers M., « Finding scientific topics », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 101, n° 1, p. 5228-5235, April, 2004.
- Guille A., Diffusion de l'information dans les médias sociaux : modélisation et analyse. (Information diffusion in social media : modeling and analysis), PhD thesis, Lumière University Lyon 2, France, 2014.
- Guille A., Favre C., « Event detection, tracking, and visualization in Twitter : a mention-anomaly-based approach », *Social Netw. Analys. Mining*, vol. 5, n° 1, p. 18 :1-18 :18, 2015.
- Hofmann T., « Probabilistic Latent Semantic Indexing », *Proceedings of the 22Nd Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, SIGIR '99*, New York, NY, USA, p. 50-57, 1999.
- Kouloumpis E., Wilson T., Moore J., « Twitter Sentiment Analysis : The Good the Bad and the OMG! », 2011.

- Kumar R., Novak J., Tomkins A., « Structure and Evolution of Online Social Networks », *Proceedings of the 12th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, KDD '06, ACM, New York, NY, USA, p. 611-617, 2006.
- Kwak H., Lee C., Park H., Moon S., « What is Twitter, a Social Network or a News Media ? », *Proceedings of the 19th International Conference on World Wide Web*, WWW '10, ACM, New York, NY, USA, p. 591-600, 2010.
- Nachouki G., Quafafou M., « MashUp web data sources and services based on semantic queries », *Inf. Syst.*, vol. 36, n° 2, p. 151-173, 2011.
- Pohl D., Bouchachia A., Hellwagner H., « Social Media for Crisis Management : Clustering Approaches for Sub-Event Detection », *Multimedia Tools and Applications*, Springer, NY, USA, published online. pp. 32, 2013.
- Ravi K., Ravi V., « A survey on opinion mining and sentiment analysis : Tasks, approaches and applications », *Knowledge-Based Systems*, vol. 89, p. 14 - 46, 2015.
- Sakai T., Tamura K., « Real-time analysis application for identifying bursty local areas related to emergency topics », *SpringerPlus*, vol. 4, n° 1, p. 162, 2015.
- Scott J., *Social Network Analysis : A Handbook*, SAGE Publications, January, 2000.
- Stan J., Muhlenbach F., Largeron C., « Recommender Systems using Social Network Analysis : Challenges and Future Trends », in R. Alhajj, J. Rokne (eds), *Encyclopedia of Social Network Analysis and Mining*, Springer, p. 1-22, 2014.
- Suh B., Hong L., Pirolli P., Chi E. H., « Want to Be Retweeted? Large Scale Analytics on Factors Impacting Retweet in Twitter Network », *Proceedings of the 2010 IEEE Second International Conference on Social Computing*, SOCIALCOM '10, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, p. 177-184, 2010.
- Wasserman S., Faust K., *Social Network Analysis : Methods and Applications*, Structural Analysis in the Social Sciences, Cambridge University Press, 1994.
- Zhou X., Chen L., « Event Detection over Twitter Social Media Streams », *The VLDB Journal*, vol. 23, n° 3, p. 381-400, June, 2014.



---

## The Selection of Annotators based on Reliability Estimation in Crowdsourcing

**Agus Budi Raharjo<sub>1</sub>\***

\* Aix-Marseille University, CNRS, LSIS, Marseille, France  
agus.budi.raharjo@lsis.org

---

*ABSTRACT.* Crowdsourcing appears as one of cheap and fast solutions of distributed labor networks. Since the workers have various expertise levels, several approaches to measure workers reliability have been addressed. There is a condition when spammers are abundance and no fully reliable worker is available, while current researches assume that crowds have at least one reliable worker. Therefore, we proposed an iterative algorithm in crowds problem when it is hard to find expert annotators. We combine sensitivity and specificity probability estimation with entropy measurement to obtain annotator rank in a short time. Experimental results show that the proposed algorithm performs higher AUC values than the earlier approaches.

*KEYWORDS:* worker reliability estimation, EM algorithm, crowdsourcing.

---

## 1. Introduction

When the online occupation have already beyond the regional borders in this sharing era, micro task platform such as crowdsourcing provides a better solution of distributed labor networks (Howe, 2008). However, since the workers have various expertise level, there is a big challenge to measure their reliability. In (Tarasov *et al.*, 2014), author proposed three approaches to detect the quality of worker based on its labeling phase given a set of instances, doing the small testing data before the real annotation process is started (Heer and Bostock, 2010), selecting the appropriate between worker and instance during the annotation process (dynamic estimation), and evaluating the result after the process is finished (static estimation) (Sheng *et al.*, 2008; Raykar and Yu, 2012). Dynamic worker selection is divided into two groups based on rater availability, which assume that worker is always available (Donmez *et al.*, 2009; Dekel *et al.*, 2012) and when raters are not constantly engaged in the rating process (Tarasov *et al.*, 2014; Welinder and Perona, 2010; Ho *et al.*, 2013).

By considering the situation in which manually labeling in crowds is expensive, several active learning algorithms have been addressed to handle abundant data (Whitehill *et al.*, 2009a; Raykar *et al.*, 2010; Yan *et al.*, 2011; Demartini *et al.*, 2012; Audhkhasi and Narayanan, 2013; Rodrigues *et al.*, 2013). However, there is a risk that the algorithm be overwhelmed by uninformative examples. Although the hybrid active learning between human and machine have been proposed for this case (Lughofer, 2012; Cheng and Bernstein, 2015; Han *et al.*, 2016), the combination of several experts still shows as an obvious approach to make decisions more reliable (Witten *et al.*, 2011). Improving prediction quality after data are collected is important (Zhang *et al.*, 2016) since controlling the quality in dynamic estimation is too difficult (Downs *et al.*, 2010; Ross *et al.*, 2010).

Therefore, we propose to improve the label quality by selecting reliable annotators in static estimation. State of the art of this method is explained further in the section 2. We proposed an iterative probabilistic algorithm as a contribution in section 3. In Section 4 we conclude the paper and suggests directions for future work.

## 2. State of the Art

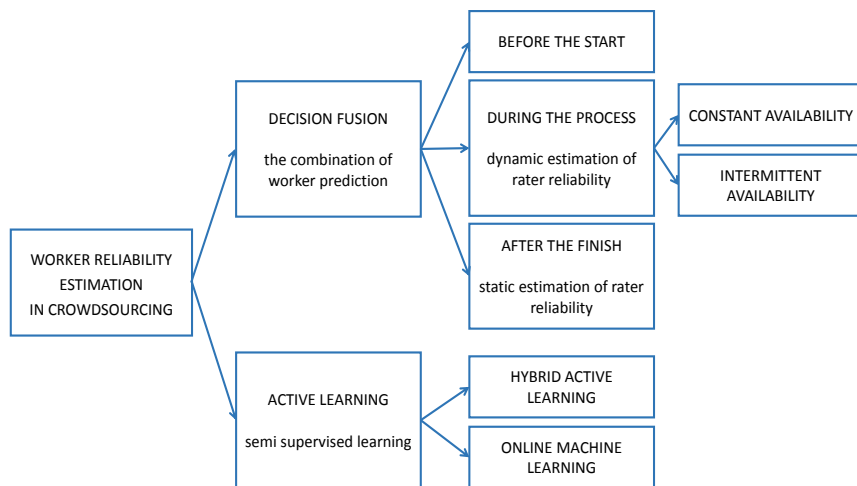
Crowdsourcing is a group of annotators that participates in a task of specific activity (Howe, 2008). It may consist of limited or expert group, such as InnoCentive<sup>1</sup>, Amazon Mechanical Turk<sup>2</sup>, Threadless<sup>3</sup>, etc (Estellés-Arolas and González-Ladrón-De-Guevara, 2012). However, the lack of worker performance produce a biased result since the main purpose of some people are only to get a reward. Annotators may attempt to maximize their profits while minimizing their effort (Callison-Burch, 2009).

1. <https://www.innocentive.com>

2. <https://www.mturk.com>

3. <https://www.threadless.com>

Several approaches to measure worker reliability have been addressed based on the combination of rater answer and building a new meta-learning given previous worker data. Figure 1 shows the taxonomy of worker reliability estimation in case of crowdsourcing as described in (Tarasov *et al.*, 2014).



**Figure 1.** Worker reliability estimation in crowdsourcing.

Based on the combination of annotation, worker reliability estimation can be separated into three crowds process, which is before the crowd is started, during the rating, and after the process is finished. (Heer and Bostock, 2010; Su *et al.*, 2007), authors proposed to give a qualification test for worker where the true label is known. If a worker fails this task, he is not permitted to rate any instances. The benefit of this method currently has no real proof in the literature. While dynamic and static techniques are still developed due to their good performance.

Dynamic worker reliability estimation minimizes the number of annotator during the process, which influences with lower cost. This method can be divided by considering the availability of worker, constant and intermittent availability. Constant availability assumes that rater can participate to all instance. Several studies of this method are proposed in (Chen *et al.*, 2013; Dekel *et al.*, 2012; Donmez *et al.*, 2009; Wu *et al.*, 2013). Intermittent availability deals with the condition when the number of participant is dynamically changed as it is studied in (Tarasov *et al.*, 2014; Ho *et al.*, 2013; Welinder and Perona, 2010; Zou and Parkes, 2012). Dynamic reliability takes cost factor into account when the error must be avoided as it is studied in the study of (Welinder and Perona, 2010), when authors prefer to find the balance between error and cost.

If we consider to optimize the result done by crowdsourcing, static worker reliability estimation can be considered since dynamic estimation is unable to achieve global optimal result. This method is explained more detail in (Audhkhasi and Narayanan, 2013; A. P. Dawid, 1979; Jung and Lease, 2012; Raykar and Yu, 2012; Karger *et al.*, 2013; Whitehill *et al.*, 2009b; Zhang *et al.*, 2017). A lot of approaches in this context deal with the ranking of annotator before they eliminate less qualified annotator.

In certain case, there are situations in which unlabeled data is abundant but manually labeling is expensive. In this problem, active learning proposes an idea to learn previous knowledge of annotator and applies this analysis to build new meta-learning model. Since it needs some part of known label to handle the future unlabeled data, active learning can be categorized as semi supervised method in machine learning. Several literatures have been addressed in this field to optimize the performance of new model as it is (Raykar *et al.*, 2010; Wolley and Quafafou, 2012b; Wolley and Quafafou, 2012a; Yan *et al.*, 2011; Rodrigues *et al.*, 2013; Whitehill *et al.*, 2009a; Demartini *et al.*, 2012; Audhkhasi and Narayanan, 2013). The study of (Raykar *et al.*, 2010) proposed a Bayesian probabilistic approach to estimate true positive rate and true negative rate of instance given previous annotator label. This model is developed in (Wolley and Quafafou, 2012b) and (Wolley and Quafafou, 2012a) by considering certainty value and data quality respectively. In the study of (Yan *et al.*, 2011), the probability of annotator predict an instance is learned to select an appropriate worker for certain case. Adaptive research in active learning is extended by developing hybrid and online learning. Hybrid learning is applied to minimize human error and optimize learning algorithm capability in complex case as an example proposed in (Cheng and Bernstein, 2015). Online learning deals to update the best predictor for future data at each step (Bottou, 1998).

### 3. Contribution

Previous algorithms in crowdsourcing assume that at least one expert annotator is available. However, in reality there is no fully reliable worker and it exist some spammers since the purpose is to obtain a reward (Moayedikia *et al.*, 2016). Spammer is an annotator who provides some answer in a random way or effortless. Therefore, we propose a combination of annotators decision algorithm by applying entropy measure (Zighed *et al.*, 2009) within EM probabilistic algorithm. In order to measure worker reliability, we use Spammer score for each iteration. Selected worker is defined by the constant list of expert candidate from the previous iteration. Sensitivity and specificity probability of each annotator is estimated to determine worker reliability. Entropy measure is applied to measure the similarity of prediction class distribution and reference distribution. Reference distribution is defined as a meta information of true label. This information contains the global number of each class. Since it is difficult to find this condition in real problem, reference distribution can be selected from an

**Table 1.** Comparison of the estimated AUC and the computation time (in seconds)

Dataset	AUC				TIME			
	M.V	Baseline	SpEM	QWA	M.V	Baseline	SpEM	QWA
Cleveland	0.922	0.934	0.991	0.998	0.86	41.35	152.25	1.66
Ionosphere	0.901	0.951	0.995	0.994	1.02	97.77	137.83	3.31
Musk	0.930	0.952	1.000	0.998	1.26	157.87	203.63	16.1
Glass	0.860	0.907	0.995	0.997	0.59	20.56	62.70	1.56
Bupa	0.822	0.876	0.989	1.000	0.59	20.56	62.70	0.87
Vertebral	0.900	0.930	0.998	0.988	0.900	0.930	0.998	0.57
Spect Heart	0.865	0.904	0.996	0.999	0.865	0.904	0.996	0.992
Haberman	0.721	0.875	0.997	1.000	0.721	0.875	0.997	1.000
<b>Mean</b>	0.865	0.916	0.995	0.997	0.91	72.04	162.96	3.26

annotator that has the best track record of previous prediction. This method is applied in static worker reliability estimation.

In order to measure the performance of our method, we conducted experiments with eight binary classification datasets from UCI repository(Lichman, 2013). We simulate 100 annotators with the composition of 15% of experts and 85% of spammers. Our approach (QWA) is compared with majority voting, Baseline probabilistic model (Raykar *et al.*, 2010), and SpEM algorithm (Raykar and Yu, 2012). Area under curve (AUC) of sensitivity and 1-specificity is used to evaluate each algorithm prediction. Computation time is considered since crowdsourcing has to deal with rapidity decision in the real world problem. Table 3 provides the result of both AUC evaluation and computation time. In AUC column, it shows that SpEM and QWA provides the similar performance. However, SpEM needs a lot of time to calculate as figured in time column. At the end, QWA shows the best average AUC among the others.

#### 4. Conclusion

In this study, we propose a probabilistic approach in the context of crowdsourcing when no fully reliable worker exist and abundance number of spammer. We integrate entropy measure and spammer score within EM algorithm to filter potential spammer. This approach is categorized in static worker reliability estimation. We conduct an experimental procedure compared with previous algorithms. The result shows that our method provides a comparable AUC value. Furthermore, discretization of annotators influences computation time, so that we can reduce computation time significantly. In the future work, we like to improve the selection of reference distribution for entropy measure and consider to apply this method in dynamic worker reliability estimation.



## 5. References

- A. P. Dawid A. M. S., "Maximum Likelihood Estimation of Observer Error-Rates Using the EM Algorithm", *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, vol. 28, n° 1, p. 20-28, 1979.
- Audhkhasi K., Narayanan S., "A Globally-Variant Locally-Constant Model for Fusion of Labels from Multiple Diverse Experts without Using Reference Labels", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 35, n° 4, p. 769-783, April, 2013.
- Bottou L., "Online Algorithms and Stochastic Approximations", in D. Saad (ed.), *Online Learning and Neural Networks*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1998. revised, oct 2012.
- Callison-Burch C., "Fast, Cheap, and Creative: Evaluating Translation Quality Using Amazon's Mechanical Turk", *Proceedings of the 2009 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing: Volume 1 - Volume 1*, EMNLP '09, Association for Computational Linguistics, Stroudsburg, PA, USA, p. 286-295, 2009.
- Chen X., Lin Q., Zhou D., "Optimistic Knowledge Gradient Policy for Optimal Budget Allocation in Crowdsourcing", in S. Dasgupta, D. Mcallester (eds), *Proceedings of the 30th International Conference on Machine Learning (ICML-13)*, vol. 28, JMLR Workshop and Conference Proceedings, p. 64-72, May, 2013.
- Cheng J., Bernstein M. S., "Flock: Hybrid Crowd-Machine Learning Classifiers", *Proceedings of the 18th ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work & Social Computing*, CSCW '15, ACM, New York, NY, USA, p. 600-611, 2015.
- Dekel O., Gentile C., Sridharan K., "Selective sampling and active learning from single and multiple teachers", *Journal of Machine Learning Research*, vol. 13, p. 2655-2697, 2012.
- Demartini G., Difallah D. E., Cudré-Mauroux P., "ZenCrowd: Leveraging Probabilistic Reasoning and Crowdsourcing Techniques for Large-scale Entity Linking", *Proceedings of the 21st International Conference on World Wide Web*, WWW '12, ACM, New York, NY, USA, p. 469-478, 2012.
- Donmez P., Carbonell J. G., Schneider J., "Efficiently Learning the Accuracy of Labeling Sources for Selective Sampling", *Proceedings of the 15th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, KDD '09, ACM, New York, NY, USA, p. 259-268, 2009.
- Downs J. S., Holbrook M. B., Sheng S., Cranor L. F., "Are Your Participants Gaming the System?: Screening Mechanical Turk Workers", *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '10, ACM, New York, NY, USA, p. 2399-2402, 2010.
- Estellés-Arolas E., González-Ladrón-De-Guevara F., "Towards an Integrated Crowdsourcing Definition", *J. Inf. Sci.*, vol. 38, n° 2, p. 189-200, April, 2012.
- Han W., Coutinho E., Ruan H., Li H., Schuller B., Yu X., Zhu X., "Semi-Supervised Active Learning for Sound Classification in Hybrid Learning Environments", *PLOS ONE*, vol. 11, n° 9, p. 1-23, 09, 2016.
- Heer J., Bostock M., "Crowdsourcing Graphical Perception: Using Mechanical Turk to Assess Visualization Design", *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '10, ACM, New York, NY, USA, p. 203-212, 2010.

- Ho C.-J., Jabbari S., Vaughan J. W., "Adaptive Task Assignment for Crowdsourced Classification", *Proceedings of the 30th International Conference on International Conference on Machine Learning - Volume 28*, ICML'13, JMLR.org, p. I-534-I-542, 2013.
- Howe J., *Crowdsourcing: How the Power of the Crowd is Driving the Future of Business*, Business books, Random House Business, 2008.
- Jung H., Lease M., *Improving quality of crowdsourced labels via probabilistic matrix factorization*, vol. WS-12-08, p. 101-106, 2012.
- Karger D. R., Oh S., Shah D., "Efficient Crowdsourcing for Multi-class Labeling", *Proceedings of the ACM SIGMETRICS/International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems*, SIGMETRICS '13, ACM, New York, NY, USA, p. 81-92, 2013.
- Lichman M., "UCI Machine Learning Repository", 2013.
- Lughofer E., "Hybrid active learning for reducing the annotation effort of operators in classification systems", *Pattern Recognition*, vol. 45, n° 2, p. 884 - 896, 2012.
- Moayedikia A., Ong K. L., Boo Y. L., Yeoh W., "Bee Colony Based Worker Reliability Estimation Algorithm in Microtask Crowdsourcing", *2016 15th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*, p. 713-717, Dec, 2016.
- Raykar V. C., Yu S., "Eliminating Spammers and Ranking Annotators for Crowdsourced Labeling Tasks", *J. Mach. Learn. Res.*, vol. 13, n° 1, p. 491-518, February, 2012.
- Raykar V. C., Yu S., Zhao L. H., Valadez G. H., Florin C., Bogoni L., Moy L., "Learning From Crowds", *J. Mach. Learn. Res.*, vol. 11, p. 1297-1322, August, 2010.
- Rodrigues F., Pereira F., Ribeiro B., "Learning from multiple annotators: Distinguishing good from random labelers", *Pattern Recognition Letters*, vol. 34, n° 12, p. 1428 - 1436, 2013.
- Ross J., Irani L., Silberman M. S., Zaldivar A., Tomlinson B., "Who Are the Crowdworkers?: Shifting Demographics in Mechanical Turk", *CHI '10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '10, ACM, New York, NY, USA, p. 2863-2872, 2010.
- Sheng V. S., Provost F., Ipeirotis P. G., "Get Another Label? Improving Data Quality and Data Mining Using Multiple, Noisy Labelers", *Proceedings of the 14th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, KDD '08, ACM, New York, NY, USA, p. 614-622, 2008.
- Su Q., Pavlov D., Chow J.-H., Baker W. C., "Internet-scale Collection of Human-reviewed Data", *Proceedings of the 16th International Conference on World Wide Web*, WWW '07, ACM, New York, NY, USA, p. 231-240, 2007.
- Tarasov A., Delany S. J., Namee B. M., "Dynamic estimation of worker reliability in crowdsourcing for regression tasks: Making it work", *Expert Syst. Appl.*, vol. 41, n° 14, p. 6190-6210, 2014.
- Welinder P., Perona P., "Online crowdsourcing: Rating annotators and obtaining cost-effective labels", *2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition - Workshops*, p. 25-32, June, 2010.
- Whitehill J., Ruvolo P., Wu T., Bergsma J., Movellan J., "Whose Vote Should Count More: Optimal Integration of Labels from Labelers of Unknown Expertise", *Proceedings of the 22Nd International Conference on Neural Information Processing Systems*, NIPS'09, Curran Associates Inc., USA, p. 2035-2043, 2009a.

- Whitehill J., Wu T.-f., Bergsma J., Movellan J. R., Ruvolo P. L., “Whose vote should count more: Optimal integration of labels from labelers of unknown expertise”, *Advances in neural information processing systems*, p. 2035–2043, 2009b.
- Witten I. H., Frank E., Hall M. A., “Chapter 8 - Ensemble Learning”, in I. H. Witten, E. Frank, M. A. Hall (eds), *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques (Third Edition)*, third edition edn, The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems, Morgan Kaufmann, Boston, p. 351 - 373, 2011.
- Wolley C., Quafafou M., “Learning from multiple annotators: when data is hard and annotators are unreliable”, *12th International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW)*p. 514-521, 2012a.
- Wolley C., Quafafou M., “Learning from Multiple Naive Annotators”, *8th International Conference on Advanced Data Mining and Applications (ADMA)*, vol. 7713, p. 173-185, 2012b.
- Wu W., Liu Y., Guo M., Wang C., Liu X., “A probabilistic model of active learning with multiple noisy oracles”, *Neurocomputing*, vol. 118, p. 253 - 262, 2013.
- Yan Y., Fung G. M., Rosales R., Dy J. G., “Active learning from crowds”, *Proceedings of the 28th international conference on machine learning (ICML-11)*, p. 1161-1168, 2011.
- Zhang J., Sheng V. S., Li Q., Wu J., Wu X., “Consensus algorithms for biased labeling in crowdsourcing”, *Information Sciences*, vol. 382-383, p. 254 - 273, 2017.
- Zhang J., Wu X., Sheng V. S., “Learning from Crowdsourced Labeled Data: A Survey”, *Artif. Intell. Rev.*, vol. 46, n° 4, p. 543-576, December, 2016.
- Zighed D.-A., Ritschard G., Marcellin S., *Asymmetric and sample size sensitive entropy measures for supervised learning*, Studies in Computational Intelligence, Springer, Heidelberg, Germany, 2009.
- Zou J., Parkes D., “Get another worker? Active crowdlearning with sequential arrivals.”, 2012.

---

# Machine Learning for industrial Robotics applications

**Joris Guérin\***

\* *Arts et Métiers ParisTech*  
8 Blvd Louis XIV, 59000, LILLE

---

*RÉSUMÉ.* .

*ABSTRACT.* This document is an overview of my Ph.D research. It introduces the interest of using Machine Learning methods for robotics applications as well as the challenges involved. The improvements made so far are briefly discussed and compared to previous state of the art for local trajectory learning.

*MOTS-CLÉS:* .

*KEYWORDS:* Industrial robotics, Reinforcement Learning, Trajectory optimization.

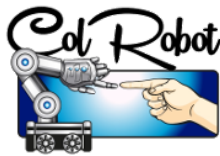
---

## 1. Introduction

### 1.1. *Industrial Robotics today*

Over the past fifty years, a lot of progress have been made in automating the industrial world. Today, many production and assembly processes are entirely made by robots. However, operations which can be carried out by robots must be very repetitive tasks, and robots are absolutely not designed to face unexpected events. Indeed, conventional robotics methods consist mainly into designing algorithms that can follow a carefully designed trajectory, which can only handle a very specific problem.

### 1.2. *Why use Machine Learning approaches?*



In the future, robots are expected to be able to execute more complex multidisciplinary tasks, working jointly with other robots and humans to reduce the drudgery of tedious work. In order to reach such level of collaboration, it is essential that tomorrow's robots can endorse self learning skills so that its controllers can be robust to different kind of situations. Moreover, self-learning robots open the possibility for unqualified worker, to be able to program robots to do new tasks. Indeed, it is always easier to specify what a robot should do and let it learn by itself than specifying how it should do it. In addition, this project is part of the European project ColRobot, which illustrates the importance of Machine Learning for potential human machine collaboration in the future.

### 1.3. *The field of Robot Learning*

My specific research interest is thus Robot Learning, which combines the field of Robotics, with the one of Machine Learning (more specifically Reinforcement Learning). Recently, this area have received a lot of attention in research, which revealed that Robot Learning is a very challenging learning problem, due to the difficulty to obtain enough real-world data. Conventional Machine Learning methods cannot be used straightforwardly as it would take too much time to gather the required number of physical data on the robot. In a few words, the purpose of my research is to design a learning framework that is suitable for industrial robotics. That is :

- The task to learn can be defined easily and intuitively by the worker.
- The robot can learn highly complex new behavior in reasonable time.
- The behavior learnt is robust to environment setup variations, and precise enough to meet industry requirements.

## 2. Proposed approach

### 2.1. Overview

#### 2.1.1. Existing methods

Robot Learning algorithms and methods have been flourishing in the past decade (Kober et Peters, 2012). To solve highly complex problems, such as the ones encountered in Robotics, the most successful method appears to be Policy Search (Deisenroth *et al.*, 2013), which consists in updating a complex policy (often in the form of a Neural Network), by following a Reinforcement Learning scheme. However, many successes were only possible in simulation (Schulman *et al.*, 2015), where the cost of gathering samples is not an issue. On real physical systems, the few successes relied on hand-designing high level features to represent the problem (Peters et Schaal, 2008), which makes the learning method less adaptive to new tasks.

In 2015, a new method called Guided Policy Search (Levine *et al.*, 2015; ?) enabled a robot to learn how to execute a very complex task from a low level feature representation for the first time. Controllers mapping directly visual inputs (in the form of the pixels of an image) to Torques at the robot joints were learnt to carry out different manipulation tasks.

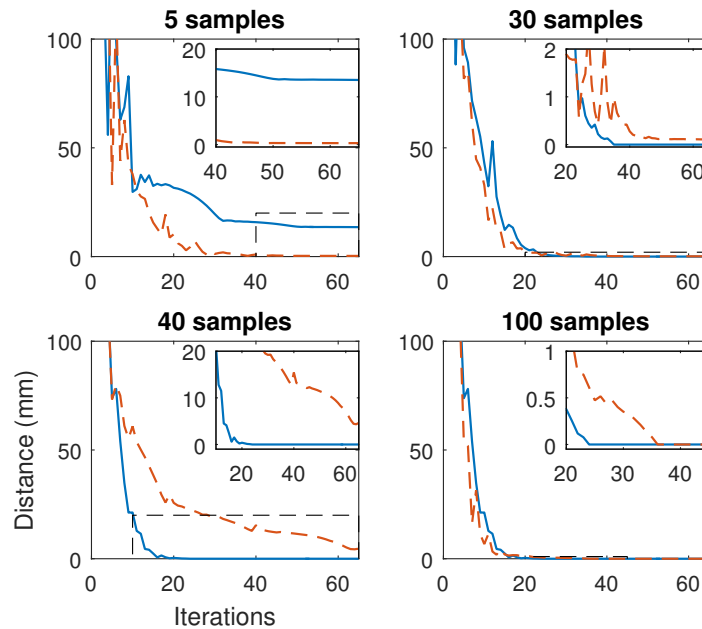
This method uses a simple Reinforcement Learning method to get local policies that succeed fast to execute the task locally. These controllers can then be used to generate successful training data for the global controller, which are often difficult to obtain with conventional unguided Policy Search methods.

#### 2.1.2. Position of the project

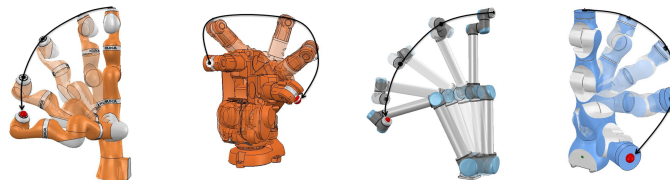
My Ph.D project consists in extending Guided Policy Search method in several directions so that it fits industry needs. Indeed, to learn such complex behaviours with Guided Policy Search, the authors had to supervise the learning process all the time, the scene setup had to be moved manually relatively often and the learning time, even though it was reasonable (a few hours), is still too long. In addition, the high precision required in many industrial tasks would increase the learning time even further.

### 2.2. Achievements

During the first year of my Ph.D work, I have essentially been working on methods to learn very precise local controllers faster (Guérin *et al.*, 2016b). To do this, the underlying principle was to use the iterative Linear Quadratic Regulator method (Todorov et Li, 2005), (Tassa *et al.*, 2012), which converges towards the solution when it knows the gradient of the dynamics and the hessian of the cost function at any time. I used linear and quadratic regression to approximate these quantities precisely, directly from data. The novelty of this method consists in using quadratic regression instead of just linear models to approximate the cost function. By doing this, we have shown that



**Figure 1.** *Learnt local positioning with different robots on the VREP simulation environment*



**Figure 2.** *Learnt local positioning with different robots on the VREP simulation environment*

the convergence of the algorithm is faster in the final stages, which correspond to the stages where high precision is reached (See figure 1). Such approach also enabled to get a learning framework which does not depend on any geometric model of the robot as shown on figure 2, where the same algorithm is used on different robot models in simulation.

This method scalability to real world problems has also been investigated in (Guérin *et al.*, 2016a). This conference paper received the IEEE-IES SPT Award at IECON 2016. A visual example, where a robot learns to point a target on a

wall without any prior model and equations can be seen at the end of the following video : [https://www.youtube.com/watch?v=M9RK2XznHEE&index=3&list=PL05umi31c\\_83SMDdkk26shJZb0nbqbSp1](https://www.youtube.com/watch?v=M9RK2XznHEE&index=3&list=PL05umi31c_83SMDdkk26shJZb0nbqbSp1)

The optimization of such linear-quadratic controllers requires the computation of the Kullback-Leibler divergence between stochastic trajectories. For this reason, we have also developed a new estimator for KL divergence between time-varying linear-Gaussian trajectories (Guérin *et al.*, n.d.).

In parallel to the work carried out in my main research area, I also developed a new clustering algorithm, called Gap-Ratio K-means, which enables to handle noisy data on different scales of measurement. This unsupervised classification algorithm was used to create a smart robot sorting application which can be viewed at : <https://www.youtube.com/watch?v=korkcYs1EHM>.

### 3. Conclusion

#### 3.1. Future developments

In the future, my plan is to use this modified local method within the framework of Guided Policy Search, to enable an industrial robot to learn more robust behaviors on complex tasks (grasping, assembly tasks). Being able to do this involves using visual inputs, as well as lower level controllers (Torque control).

Moreover, I also intend to design a more automated process for Guided Policy Search, by designing a framework where the robot is able to reset its environment by itself during learning, without the need for human intervention.

Finally, to increase the overall speed of the policy learning, it is essential that our algorithms are able to include prior knowledge from previously learned tasks. Indeed, learning a new task obviously presents some similarities with the other tasks learned before and such knowledge should be used to fasten the learning process. To do so, I intend to combine the use of Bayesian statistics (to include prior knowledge in the local controllers) as well as weights initialization (to include it in the global policy).

#### Remerciements

This research was partly funded by the European project COLROBOT : Collaborative Robotics for Assembly and Kitting in Smart Manufacturing.

I would like to thank my academic advisors, professor Olivier Gibaru, Dr. Eric Nyiri and Dr. Stéphane Thiery, for helping me with my Ph.D project. They devote me precious time and give me both technical and organizational advices of high quality.

I also want to express my gratitude to all the Research Engineers in my lab, Dr. Franck Hernoux, Dr. Jorge Palos, Gil Boye de Sousa and Adrien Florit. Without their



availability and support, I would not be able to carry out practical implementations of my research and I learn a lot working with them.

My thanks and appreciations also go to my colleagues, Pierre Besset, Emmanuel Cottenceau and Alexandre Renault for the interesting and inspiring conversations we have about our respective work. They have helped me a lot to overcome certain issues.

Finally, a special acknowledgement goes to my good friend Harshvardhan Gazula. The intense work sessions and deep conversations we have had about research have inspired me and guided me towards doing this fascinating work.

#### 4. Bibliographie

- Deisenroth M. P., Neumann G., Peters J. *et al.*, « A Survey on Policy Search for Robotics. », *Foundations and Trends in Robotics*, vol. 2, n° 1-2, p. 1-142, 2013.
- Guérin J., Gibaru O., Nyiri E., Thiery S., « Learning local trajectories for high precision robotic tasks : application to KUKA LBR iiwa Cartesian positioning », *Industrial Electronics Society, IECON 2016-42nd Annual Conference of the IEEE, IEEE*, p. 5316-5321, 2016a.
- Guérin J., Gibaru O., Nyiri E., Thiery S., « Locally optimal control under unknown dynamics with learnt cost function : application to industrial robot positioning :' », *ACD Advanced Control and Diagnosis*, 2016b.
- Guérin J., Gibaru O., Nyiri E., Thiery S., « Estimation of Kullback-Leibler divergence between conditional multivariate Gaussian distributions : application to robotics trajectory optimization », n.d., To be submitted.
- Kober J., Peters J., « Reinforcement learning in robotics : A survey », *Reinforcement Learning*, Springer, p. 579-610, 2012.
- Levine S., Wagener N., Abbeel P., « Learning Contact-Rich Manipulation Skills with Guided Policy Search », *CoRR*, 2015.
- Peters J., Schaal S., « Reinforcement learning of motor skills with policy gradients », *Neural networks*, vol. 21, n° 4, p. 682-697, 2008.
- Schulman J., Levine S., Moritz P., Jordan M. I., Abbeel P., « Trust region policy optimization », *CoRR, abs/1502.05477*, 2015.
- Tassa Y., Erez T., Todorov E., « Synthesis and stabilization of complex behaviors through online trajectory optimization », *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2012 IEEE/RSJ International Conference on, IEEE*, p. 4906-4913, 2012.
- Todorov E., Li W., « A generalized iterative LQG method for locally-optimal feedback control of constrained nonlinear stochastic systems », *American Control Conference, 2005. Proceedings of the 2005*, p. 300-306 vol. 1, June, 2005.

---

# Analyse et commande de systèmes électromécaniques à dynamiques couplées non-linéaires basée sur la théorie des formes normales

## Un rapport d'avancement pour les 14 èmes Journées des doctorants du LSIS

**Tian TIAN**

*Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systemes(LSIS-UMR CNRS 7296)  
Laboratoire d'Electrotechnique et d'Electronique de Puissance(L2EP-EA 2697)  
Arts et Metiers ParisTech  
8 bd. Louis XIV 59000 Lille, France  
Tian.Tian@ensam.eu*

---

*RÉSUMÉ. Ce rapport présente des travaux de thèse réalisés au cours de 30 mois passés. L'objet de thèse est de proposer une méthode pour l'analyse et la commande modale non-linéaire de systèmes électromécaniques à dynamiques couplées non-linéaires basée sur la théorie des formes normales. Même si elle est utilisée à grande échelle pour des analyses en mécanique des structures, la théorie des formes normales était peu connue dans le domaine électrique. Les contributions scientifiques originales sont présentées avec des exemples concrets.*

*ABSTRACT. This report presents the PhD work in the past 30 months to develop a methodology based on normal form theory to analyze and control electromechanical systems having nonlinear couplings in the dynamics. Although Normal Form theory has been widely used in mechanical domain for structure analysis, its application to electromechanical systems which exhibits predominant nonlinear behaviour has not been well developed yet. The scientific contributions are presented with concrete examples, and publications are listed.*

*MOTS-CLÉS : des formes normales, analyse, commande , non-linéaire, dynamique couplées, systèmes électromécaniques*

*KEYWORDS: Normal Form, analysis, control, non-linear, coupled dynamics, electromechanical systems*

---

## 1. Sujet de thèse

Mon sujet se concentre sur des systèmes électromécaniques possédant des caractéristiques non-linéaires prédominantes qui ne peuvent être traitées correctement par les théories linéaires. Par exemple, traiter des systèmes ayant des oscillations non-linéaires à fréquence variable par des théories linéaires entraînerait beaucoup d'erreurs de modélisation. Cependant, garder tous les termes non-linéaires est laborieux et n'est pas nécessaire. Dans mes travaux, il s'agit de trouver une méthode où les non-linéarités principales sont gardées afin de conserver l'essentiel du comportement non-linéaire, alors que d'autres sont ignorées pour simplifier les calculs.

Nous conservons notamment les termes qui contribuent à la précision, la stabilité, et la fréquence des oscillations. Cette méthode est basée sur la théorie des formes normales de Poincaré qui élimine des termes non-linéaires par le biais de transformations non-linéaires. Et alors nous obtenons

Ces deux dernières années de travail m'ont permis de mettre en place des analyses non-linéaires de réseaux électriques fournissant de meilleurs résultats que l'analyse linéaire et d'autres méthodes non-linéaires. Des publications en revues avec comité de lecture sont en cours de rédaction. Des explorations très originales dans la commande des entraînements électriques utilisant des formes normales ont été effectuées et les conclusions que nous en avons tirées sont significatives.

## 2. L'état de l'art

### 2.1. Théorie des formes normales

Théorème de Poincaré-Dulac : Soit un système dynamique dépendant de  $X$  :  $\dot{X} = AX + N(X)$ .  $A$  est linéaire,  $N(X)$  est nonlinéaire. Le changement de variable  $X = Y + h(Y)$  permet d'éliminer tous les monômes non-résonnants :  $\dot{Y} = AY + An(Y)$ , qui est sous sa forme "la plus simple".

Cette méthode est intéressante pour des systèmes suffisamment différentiables. En prenant successivement les changements de variables  $X = Y + h_2(Y)$ , puis  $X = Y + h_3(Y)$  etc, on stabilise bien un terme supplémentaire de degré fixé à chaque étape et obtient les formes normales avec une certaine précision. On a déjà obtenu des réussites sur l'analyse d'un systèmes en mécanique des structures. Nous considérons l'utiliser sur systèmes électromécaniques à dynamiques couplées non-linéaires.

### 2.2. Analyse en mécanique des structures basée sur la théorie des formes normales

#### 2.2.1. Notion de mode normal

Pour un système oscillatoire à plusieurs degrés de liberté, un mode normal ou mode propre d'oscillation est une forme spatiale selon laquelle un système excitable

(micro ou macroscopique) peut osciller après avoir été perturbé au voisinage de son état d'équilibre stable ; une fréquence naturelle de vibration est alors associée à cette forme. Tout objet physique, comme une corde vibrante, un pont, un bâtiment ou encore une molécule possède un certain nombre, parfois infini, de modes normaux de vibration qui dépendent de sa structure, de ses constituants ainsi que des conditions aux limites qui lui sont imposées. Le nombre de modes normaux est égal à celui des degrés de liberté du système.

Le mouvement le plus général d'un système est une superposition de modes normaux. Le terme "normal" indique que chacun de ces modes peut vibrer indépendamment des autres, c'est-à-dire que l'excitation du système dans un mode donné ne provoquera pas l'excitation des autres modes. En d'autres termes, la décomposition en modes normaux de vibration permet de considérer le système comme un ensemble d'oscillateurs harmoniques indépendants dans l'étude de son mouvement au voisinage de sa position d'équilibre stable.

#### 2.2.2. *Mode non-linéaire basée sur des formes normales*

Le comportement des systèmes oscillatoires à dynamiques couplées non-linéaires ne peut pas être traité par des modes normaux linéaires car des propriétés non-linéaires seraient perdues. On propose la notion de «Mode non-linéaire» qui conserve variété invariante de l'espace des phases (Touzé *et al.*, 2004, Touzé *et al.*, 2006, Touzé, 2014). Tous les modes non-linéaires sont "les formes normales" d'un système oscillatoire, calculés en une seule opération basée sur la théorie des formes normales (Touzé *et al.*, 2004, Touzé *et al.*, 2006, Touzé, 2014). Validé par l'expérimentation, les modes non-linéaires prédisent plus exactement le comportement dynamique non linéaire d'un système mécanique.

### 2.3. *Analyse et commande de systèmes électromécaniques à dynamiques couplées non-linéaires*

#### 2.3.1. *Réseau*

Le réseau électrique est un exemple concret qui a beaucoup de dynamiques couplées non-linéaires. Faire la linéarisation d'un système d'équations entraînerait beaucoup d'erreurs de modélisation et échouerait pour prédire des comportements dynamiques tels que oscillations non-linéaires à fréquence variable (Wang *et al.*, 2016) et la stabilité (Amano *et al.*, 2006).

Une approche à champ vectoriel est proposée (Sanchez-Gasca *et al.*, 2005, Amano *et al.*, 2006) mais la méthode n'est pas complétée et n'est pas suffisamment précise.

#### 2.3.2. *Commande basée sur la théorie des formes normales*

C'est totalement original.

## 2.4. La théorie des formes normales ne fonctionne que sur des systèmes mécaniques ?

La différence entre la dynamique d'un système électrique et celle de d'un système mécanique est : tout réseau électrique connaît des pertes actives ou passives d'électricité mais l'énergie du système mécanique se conserve. Les formules de calcul sont différentes.

## 3. Contribution scientifique et publications

### 3.1. Contribution Scientifique

Dans une première approche, nous avons employé la méthode des champs vectoriels. L'expérimentation est réalisée dans l'étude de cas : IEEE 2-area 4-machine système (fig.1). Le travail suscite un intérêt et une collaboration au niveau international : HIROYUKI Amano (Japonais) et MESSINA Arturo Roman (Mexicain). Une revue sur *IEEE Transactions on Power Systems* est soumis.

Dans une deuxième approche, nous avons modifié les modes non-linéaire pour étudier le dynamique d'un système électromécanique tel que tel que convertisseurs interconnectés (fig.2). L'équation d'un système est sous la forme de celle d'un oscillateur afin d'obtenir une meilleur compréhension physique par rapport à la méthode des champs vectorielles. Une revue est en cours de rédaction.

Des explorations très originales dans la commande des entraînements électriques (fig.3) utilisant des formes normales ont été effectuées et les conclusions que nous en avons tirées sont significatives.

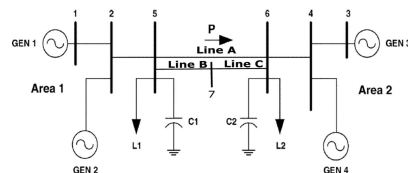


Figure 1. IEEE 4 machine system

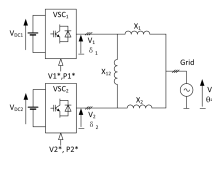


Figure 2. Interconnected VSC

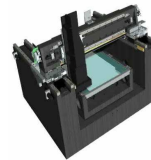


Figure 3. Gantry

### 3.2. Publications

Ces travaux ont donné lieu à plusieurs publications dans des conférences internationales avec comité de relecture. Un article de journal est soumis, et un autre est en cours de rédaction.

### 3.2.1. Conférences internationales avec comité de relecture

– TIAN Tian, KESTELYN Xavier, THOMAS Olivier, “Third-order Based Analytical Investigation of Nonlinear Interactions between Voltage Source Converters Interconnected to a Transmission Grid”, *2016 EPE ECCE EUROPE, Karlsruhe, Germany, 09/2016*.

– TIAN Tian, KESTELYN Xavier, THOMAS Olivier et al, “Analytical Investigation of Nonlinear Interactions between Voltage Source Converters Interconnected to a Transmission Grid”, *2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM), Boston, MA, USA, 2016*

– TIAN Tian, KESTELYN Xavier, THOMAS Olivier, “Analytical Investigation of Nonlinear Interactions between Voltage Source Converters Interconnected to a Transmission Grid : Case of Forced Oscillations”, *2017 IEEE PES General Meeting, Chicago, USA*

### 3.2.2. Revue à comité de lecture

[Soumis] TIAN Tian, KESTELYN Xavier, THOMAS Olivier, HIROYUKI Amano and MESSINA Arturo Roman , “An Accurate Third-order Normal Form Approximation for Power System Nonlinear Analysis”, *IEEE Transactions on Power Systems*

[Rédaction] TIAN Tian, KESTELYN Xavier, THOMAS Olivier, “Analytical Stability Bound for On-line Transient Stability Analysis Via a Real-approach Normal Form Method”

## 4. Conclusion et perspectives

### 4.1. Conclusion

L'objet de notre travail est d'étudier le comportement dynamique non linéaire du système électromécanique.

Deux méthodologies de travail ont été mises en oeuvre, afin d'atteindre l'objectif de cette thèse :

- Une méthodologie d'analyse.
- Une méthodologie de commande.

La première méthodologie est basée sur deux approches : une approche de champs vectoriels et une approche de modes non-linéaires.

La deuxième méthodologie est basée sur l'approche de modes non-linéaires où le dynamique d'un système est décomposé de oscillateurs, disponible pour faire la commande de la vitesse et du déplacement de chaque mode indépendamment.

#### **4.2. Perspectives**

En perspective de ce travail, nous prévoyons la généralisation de l'étude du comportement dynamique non-linéaire du système électromécanique comme suit :

1) de l'analyse à la commande et à la conception : étudier l'influences de paramètres principaux pour le réglage de contrôleurs et la conception des réseaux électriques.

2) de la théorie à la pratique : comment faire l'analyse et la commande du système industriel ? Raffiner la méthodologie prenant en compte des apports industriels.

## 5. Bibliographie

- Amano H., Kumano T., Inoue T., « Nonlinear stability indexes of power swing oscillation using normal form analysis », *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 21, n° 2, p. 825-834, May, 2006.
- Sanchez-Gasca J., Vittal V., Gibbard M., Messina A., Vowles D., Liu S., Annakkage U., « Inclusion of higher order terms for small-signal (modal) analysis : committee report-task force on assessing the need to include higher order terms for small-signal (modal) analysis », *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 20, n° 4, p. 1886-1904, Nov, 2005.
- Touzé C., « Normal form theory and nonlinear normal modes : theoretical settings and applications », in , G. Kerschen (ed.), *Modal Analysis of nonlinear Mechanical Systems*, Springer Series CISM courses and lectures, vol. 555, ISBN 978-3-7091-1790-2, 2014.
- Touzé C., Amabili M., « Non-linear normal modes for damped geometrically non-linear systems : application to reduced-order modeling of harmonically forced structures », *Journal of Sound and Vibration*, vol. 298, n° 4-5, p. 958-981, 2006.
- Touzé C., Thomas O., Chaigne A., « Hardening/softening behaviour in non-linear oscillations of structural systems using non-linear normal modes », *Journal of Sound Vibration*, vol. 273, n° 1-2, p. 77-101, 2004.
- Wang B., Sun K., « Formulation and Characterization of Power System Electromechanical Oscillations », *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 31, n° 6, p. 5082-5093, Nov, 2016.





---

# Analysis of Information and Influence Diffusion in Social Networks

**Lan YANG**

LSIS - (UMR CNRS)

Domaine Universitaire de Saint-Jérôme - Batiment Polytech

Avenue Escadrille Normandie-Niemen

13397 MARSEILLE CEDEX 20

lan.yang@lsis.org

---

*ABSTRACT. Information or influence diffusion in social networks has been widely studied in recent years. Most of the previous works are focused on solving the problem of influence maximization, which aims to identify a small subset of early adopters in a social network to maximize the influence propagation under a given diffusion model. In this thesis, motivated by practical scenarios, we propose two different influence minimization problems. We consider a Linear Threshold diffusion model and provide a general solution to the first problem solving a linear integer programming. For the second problem, we provide a technique to search for an optimal solution that works only in particular cases and discuss a simple heuristic to find a solution in the general case.*

*RÉSUMÉ. L'information ou la diffusion de l'influence dans les réseaux sociaux a été largement étudiée au cours des dernières années. La plupart des travaux antérieurs sont axés sur la résolution du problème de la maximisation de l'influence, qui vise à identifier un petit sous-ensemble d'adopteurs précoces dans un réseau social pour maximiser la propagation de l'influence selon un modèle de diffusion donné. Dans notre thèse, motivée par des scénarios pratiques, nous proposons deux problèmes de minimisation d'influence différents. Nous considérons un modèle de diffusion de seuil linéaire et fournissons une solution générale au premier problème de résolution d'une programmation en nombre entier linéaire. Pour le deuxième problème, nous fournissons une technique de recherche d'une solution optimale qui ne fonctionne que dans les cas particuliers et proposons une simple heuristique pour trouver une solution dans le cas général.*

*KEYWORDS: Social Network, influence diffusion, diffusion model, optimization.*

*MOTS-CLÉS: Réseau social, la diffusion de l'influence, modèle de diffusion, optimisation.*

---

## 1. Introduction

With the rapid growth of information and communication technology during the last two decades, people are actively using networks for getting information, exchanging ideas, and even adopting new products. From a psychology perspective, it is well understood that an individual's idea or behavior is highly influenced by its neighbors or friends. Motivated by this, the study of influence propagation finds several applications in real-world life including viral marketing, the spread of rumors or memes, trust, the adoption of innovations in organizations, opinion dynamics, etc. In order to model the propagation of an idea or innovation through a network, Kempe et al. (Kempe et al., 2003) proposed two main diffusion models, namely the *Independent Cascade model* and the *Linear Threshold model*. They consist in directed graphs where each node can be either active (if it has adopted the innovation) or inactive (if it has not adopted the innovation). The innovation propagates in the network in a *progressive* fashion, i.e., nodes can only switch from inactive to active, but not in the opposite direction.

The *influence maximization* problem has a clear practical motivation in many applications, e.g., viral marketing (Domingos et al., 2001). It aims to identify a small subset of initial adopters (seed set) in a social network to maximize the influence propagation under a given diffusion model and has been widely studied in the literature. Kempe et al. (Kempe et al., 2003) formalize this problem as an optimization problem, showing that it is NP-hard for both the Independent Cascade model and the Linear Threshold model, and present a greedy algorithm that can reach a good approximation of the optimal solution. Later, several improved algorithms (Leskovec et al., 2007, Chen et al., 2009, Chen et al., 2010, Goyal et al., 2011, Narayanam et al., 2011, Liu et al., 2014, Song et al., 2015) were presented to solve the influence maximization problem by balancing the running time and the influence spread of algorithms, trying to make them scalable to large datasets.

For the Linear Threshold model, Rosa et al. (Rosa et al., 2013) provided a linear algebraic characterization of the set of final adopters corresponding to a given seed set. The set of final adopters — which is the complement of the maximal cohesive set not containing nodes in the seed set — can be computed solving an Integer Programming Problem (IPP). They also used this approach to solve some problems of influence maximization over a finite horizon. Unfortunately, the main drawback is that the number of decision variables is too large, being of order  $n \times K$ , where  $n$  is the size of the net and  $K$  is the length of the finite horizon.

In this paper we also consider a Linear Threshold diffusion model. Differently from the works in (Budak et al., 2011) and (He et al., 2012) which study the limitation of the misinformation and influence blocking maximization respectively under a competitive circumstance where both the good and bad information co-exist, we address problems related to *influence minimization*, that so far have not received much attention. In particular we consider two scenarios that we believe have practical relevance in different application domains.

*Scenario 1.* Consider a company that must cut the supply to some of its customers since current demand exceeds its capacity. Cutting the supply will damage the reputation of the company and this bad reputation may propagate in the networks of customers. The company wants to determine a suitable set of customers, whose supply will be cut, so as to minimize this damage spread.

*Scenario 2.* Consider a hacker who wants to spread a virus to a set of servers  $V_{target}$  but can only directly infect servers in a given set  $V_{init}$ . The hacker aims to find a suitable subset of  $V_{init}$  such that starting from this seed the infection will propagate to all nodes in  $V_{target}$ . On the other hand, the hacker aims to minimize the number of nodes affected that do not belong to the target set, to avoid attracting too much attention or creating unnecessary damage to the network.

We formalize two optimization problems that generalize these scenarios. Following the characterization of (Rosa *et al.*, 2013), we provide a general solution to the first problem solving a linear IPP. For the second problem, we provide a technique to search for an optimal solution that works only in particular cases and discuss a simple heuristic to find a solution in the general case. In addition, for the influence minimization problems, we tested the proposed algorithms on three real-world datasets and compared their performance with respect to other simple heuristic approaches based on nodes' degrees and centrality that are commonly used in the literatures to estimate a node's influence.

## 2. Linear Threshold model

We consider a directed graph  $G = (V, E)$ , where  $V = \{1, 2, \dots, n\}$  is the set of nodes involved in a network and  $E$  is the set of edges where  $(i, j) \in E$ . Besides, we assign a *threshold value*  $\theta_i \in [0, 1]$  to each node  $i$ . We define the *in-neighbor* set of node  $i \in V$  as  $N_i = \{j | (j, i) \in E\}$ .

Let  $\phi_0$  be the *seed set* which represents a set of agents (in this paper, we will use node, agent, and individual interchangeably) that are initially activated at step  $t = 0$ . The activation from the seed set propagates to the network step by step. We denote  $\phi_t$  the set of nodes which are *activated* at step  $t \in \mathbb{N}$ . The set of nodes *active* at step  $t$ , i.e., those which are activated in the interval  $[0, t]$ , is denoted by  $\Phi_t(\phi_0) = \bigcup_{k=0}^t \phi_k$ .

The activation process is described as follows. At each step  $t = 1, 2, \dots$ , a non active node  $i$  becomes active iff the fraction of its neighbors that are active at the previous step is at least  $\theta_i$ , i.e.,

$$i \in \phi_t \iff \frac{|\Phi_{t-1} \cap N_i|}{|N_i|} \geq \theta_i \quad [1]$$

The evolution proceeds until no more individuals adopt the innovation, and we define the set of *final adopters* as follows:

$$\Phi_\infty(\phi_0) = \bigcup_{i=0}^{\infty} \phi_i \quad [2]$$

### 3. Problem statement and solution

In this section, we introduce two different influence minimization problems generalizing the two scenarios discussed in the introduction and discuss approaches for their solution.

#### 3.1. Scenario 1

**Problem 1** Given a diffusion model represented by a social graph  $G = (V, E)$  with  $n$  nodes, let  $\mathbf{c} \in \mathbb{R}_+^n$  be a cost vector,  $\mathbf{w} \in \mathbb{R}_+^n$  a weight vector and  $k \in \mathbb{R}_+$  a constant. Find a seed set  $\phi_0$  whose total weight is at least  $k$ , such that the total cost of the corresponding set of final adopters  $\Phi_\infty(\phi_0)$  is minimized, i.e.,

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{i \in \Phi_\infty(\phi_0)} c_i \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i \in \phi_0} w_i \geq k. \end{aligned}$$

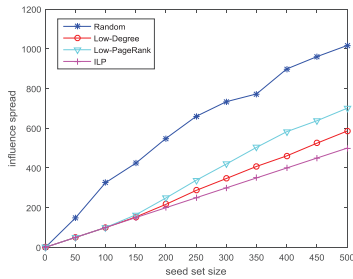
We present a proposition that successfully gives an *optimal solution* to Problem 1 under the Linear Threshold model by solving an integer linear programming (ILP).

#### 3.2. Scenario 2

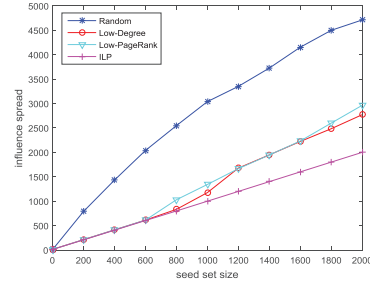
**Problem 2** Given a diffusion model represented by a social graph  $G = (V, E)$ , let sets  $V_{target} \subseteq V$  and  $V_{init} \subseteq V$  be assigned. Find a seed set  $\phi_0$  contained in  $V_{init}$  such that the set of final adopters  $\Phi_\infty(\phi_0)$  contains all nodes in  $V_{target}$  and has minimal cardinality, i.e.,

$$\begin{aligned} \min \quad & |\Phi_\infty(\phi_0)| \\ \text{s.t.} \quad & \Phi_\infty(\phi_0) \supseteq V_{target} \quad (a) \\ & \phi_0 \subseteq V_{init}. \quad (b) \end{aligned}$$

A first observation is that Problem 2 may have no admissible solution. We provide a necessary and sufficient condition for the existence of a solution. By solving this problem, we firstly provide a technique to search for an optimal solution that works only in *particular cases* under the Linear Threshold model and then present a heuristic approach to find a solution in the *general case*.



**Figure 1.** Influence spread of the tested algorithms on NetScience.



**Figure 2.** Influence spread of the tested algorithms on Hep-Th.

Table 1. Running time of the tested algorithms (for largest seed set on each dataset)

Dataset	Running time (s)			
	Random	Low-Degree	Low-PageRank	ILP
NetScience	8	2.7	6	21
Hep-Th	74	112	100	4,920

## 4. Experiments

### 4.1. Experiment result for Problem 1

We performed a series of experiments based on three real-world networks of different scales under the Linear Threshold model. And we compared our ILP method with other heuristics, two of which are based on node's degree and centrality in the network. Figs. 1 and 2 show the average influence spread of the tested algorithms on datasets NetScience, Power, and Hep-Th respectively. From the influence spread on the two datasets, we can make the following observations: (1) As expected, randomly choosing the seed set is not a good idea. Sometimes when the seed set size is large, the bad influence may propagate and cover most of the network; (2) Our integer linear programming method (ILP) outperforms the heuristics relying solely on the structure properties of the network. On network NetScience, ILP outperforms Low-Degree and Low-PageRank by 17.2% and 40.2% respectively. On network Hep-Th, ILP outperforms Low-Degree and Low-PageRank by 38.5% and 48.2% respectively; (3) Our ILP successfully selects the optimal seed set, and when the seed size is not large enough the bad influence always just exists in the seed set and will not propagate to others through the network.

However, the running time of ILP is much longer than the others when the size of the network is large since solving a large scale IPP is hard; the result of the largest seed sets is shown in Table 1.

Table 2. Experiment result

Dataset	$( V_{init} ,  V_{target} )$	$\rho^{pro}$	$\rho_{max}^{pro}$
NetScience	(10,10)	27.27%	100%
	(20,30)	21.57%	55.17%
	(30,50)	21.67%	45.00%

#### 4.2. Experiment result for Problem 2

We introduce a coefficient  $\rho^{pro}$  which illustrates the percent of nodes that avoid being activated by our strategy but will be activated if the seed set is  $V_{init}$ .

$$\rho^{pro} = \frac{(|\Phi_{\infty}(V_{init})| - |\Phi_{\infty}(\phi_0)|)}{(|\Phi_{\infty}(V_{init})| - |V_{target}|)} \times 100\% \quad [3]$$

where  $|\Phi_{\infty}(\phi_0)|$  is the number of final adopters activated by seed set  $\phi_0$  chosen by our proposed algorithm.

The experiment result is listed in Table 2. In this table,  $(|V_{init}|, |V_{target}|)$  is a number pair about the cardinality of sets  $V_{init}$  and  $V_{target}$ . We test three pairs for dataset NetScience.  $\rho_{max}^{pro}$  is the maximal percent (over all simulations) of nodes which avoids being activated but will be activated if the seed set is  $V_{init}$ . We can observe from Table 1 that our proposed strategy can protect some percent of nodes from being activated. For example, when  $(|V_{init}|, |V_{target}|) = (10, 10)$ , 27.27% nodes avoid being activated. Besides, among all the simulations, the maximal percent of nodes avoiding being activated is 100%, i.e., the selected seed set just reaches nodes in  $V_{target}$  at the end of the process and no additional node is activated.

## 5. Conclusion and perspectives

In this paper, we formalize two different influence minimization problems generalizing real-world scenarios. For the first problem, following the characterization of (Rosa *et al.*, 2013), we provide a general solution solving a linear IPP and show it outperforms other standard heuristics. For the second problem, we provide a technique to search for an optimal solution that works only in particular cases and discuss a simple heuristic to find a solution (possibly suboptimal) in the general case.

We are aware that IPP based solutions do not scale well for large graph: for this reason finding a technique to relax IPP to linear programming will be the objective of our future work. Furthermore, another interesting line of research could be to study the influence minimization problems in other models of diffusion, such as the Independent Cascade model.

## 6. Publications

**Lan Yang**, Alessandro Giua, Zhiwu Li, *Minimizing the Influence Propagation in Social Networks for Linear Threshold Models*, 20th IFAC World Congress, 9-14 July 2017, Toulouse, France. (To appear)

## 7. References

- Budak C., Agrawal D., El Abbadi A., « Limiting the spread of misinformation in social networks », *Proceedings of the 20th international conference on World wide web*, ACM, p. 665-674, 2011.
- Chen W., Wang Y., Yang S., « Efficient influence maximization in social networks », *Proceedings of the 15th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, ACM, p. 199-208, 2009.
- Chen W., Yuan Y., Zhang L., « Scalable influence maximization in social networks under the linear threshold model », *Data Mining (ICDM), 2010 IEEE 10th International Conference on*, IEEE, p. 88-97, 2010.
- Domingos P., Richardson M., « Mining the network value of customers », *Proceedings of the seventh ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, ACM, p. 57-66, 2001.
- Goyal A., Lu W., Lakshmanan L. V., « Simpath: An efficient algorithm for influence maximization under the linear threshold model », *Data Mining (ICDM), 2011 IEEE 11th International Conference on*, IEEE, p. 211-220, 2011.
- He X., Song G., Chen W., Jiang Q., « Influence blocking maximization in social networks under the competitive linear threshold model », *Proceedings of the 2012 SIAM International Conference on Data Mining*, SIAM, p. 463-474, 2012.
- Kempe D., Kleinberg J., Tardos É., « Maximizing the spread of influence through a social network », *Proceedings of the ninth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, ACM, p. 137-146, 2003.
- Leskovec J., Krause A., Guestrin C., Faloutsos C., VanBriesen J., Glance N., « Cost-effective outbreak detection in networks », *Proceedings of the 13th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, ACM, p. 420-429, 2007.
- Liu X., Li M., Li S., Peng S., Liao X., Lu X., « IMGPU: GPU-accelerated influence maximization in large-scale social networks », *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 25, n° 1, p. 136-145, 2014.
- Narayanam R., Narahari Y., « A shapley value-based approach to discover influential nodes in social networks », *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 8, n° 1, p. 130-147, 2011.
- Rosa D., Giua A., « On the Spread of Innovation in Social Networks », *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 46, n° 27, p. 322-327, 2013.
- Song G., Zhou X., Wang Y., Xie K., « Influence maximization on large-scale mobile social network: a divide-and-conquer method », *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 26, n° 5, p. 1379-1392, 2015.





---

## Testing experiments for 1-Place-Unbounded Synchronized Petri Nets

**Changshun Wu**

*Aix Marseille Université, CNRS, ENSAM, Université de Toulon, LSIS UMR 7296, France*

*changshun.wu@lsis.org*

---

*RÉSUMÉ. Le test est une technique fondamentale pour la conception et la vérification des systèmes dynamiques, mais son application aux systèmes à événements discrets modélisés par réseaux de Petri synchronisés non bornés pose des défis non triviaux, car il n'existe aucune représentation exacte pour l'espace d'état infini de ces modèles. Dans cet article, nous présentons d'abord une hypothèse plus faible sur les réseaux de Petri synchronisés pour le déploiement des travaux de test basés sur un graphe de couverture modifié. Ensuite, nous considérons une classe spéciale de réseaux de Petri synchronisés avec une unique place non bornée, et proposons une technique appelée graphe de couverture modifié amélioré qui permet de représenter l'espace d'état infini d'un tel modèle par un graphe fini. En conclusion, les perspectives sur le calcul des séquences de synchronisation et des séquences d'accueil basées sur ce nouveau graphe sont données.*

*ABSTRACT. Testing is a fundamental technique for system design and verification, however its application to discrete event systems modeled by unbounded synchronized Petri nets poses non trivial challenges because there exists no exact representation for the infinite state space of these models. In this paper, we first present a relaxed assumption on synchronized Petri nets for unfolding testing work based on modified coverability graph. Then we consider a special class of 1-place-unbounded synchronized Petri nets, that contain a single unbounded place and use a technique named as improved modified coverability graph to exactly represent the state space of such a model. At the end, conclusion of this paper and future work on the computation of synchronizing sequences and homing sequences based on this new graph are given.*

*MOTS-CLÉS : Test; réseaux de Petri synchronisés; réseaux non bornés; graphique de couverture.*

*KEYWORDS: Testing; synchronized Petri nets; unbounded nets; coverability graph.*

---

## 1. Introduction

Testing is a fundamental technique for system design and verification to ensure system security and reliability. One classical testing problem for discrete event systems (DESs) is *state identification*, i.e., given a system whose current state is unknown, find an input sequence that can drive it to a known state. Synchronizing sequences (SSs) and homing sequences (HSs) are two conventional solutions for this problem : in the case of SSs the output produced by the net is ignored, while in the case of HSs it is used to identify the final state. However its application to DESs modeled by unbounded synchronized Petri nets (SynPNs), a class of place/transition Petri nets (PNs) with input events on transitions, is not straightforward because there exists no finite exact representation for the infinite state space of these models.

Many works have addressed the non trivial problem of representing the infinite reachability set of unbounded nets. For unbounded PNs, (Karp *et al.*, 1969) first introduced a special symbol  $\omega$  to represent the markings of potential unbounded places, so that a finite coverability tree (CT) can be constructed to represent the infinite reachable state space. Although the CT provides useful applications for the determination of important properties of a Petri net such as boundedness, conservativeness, and coverability, it may contain *spurious* markings (i.e., markings in the tree that are not reachable in the net) due to the information loss resulting from the introduction of  $\omega$ . For unbounded SynPNs, a finite graph to represent the infinite state space, named modified coverability graph (MCG) was first proposed by (Pocci *et al.*, 2014) for computing synchronizing sequences. However an MCG brings not only *spurious* markings but also *vanishing* markings (i.e., markings that are reachable in the net but not represented in the MCG). As a result, testing for unbounded SynPNs can currently be investigated only for a class of SynPNs whose MCG contains no vanishing marking, i.e., a SynPN which respects a structural condition called Assumption 1 in this paper. In this spirit we propose a relaxed condition, called Assumption 2, and prove it ensures that there is no vanishing markings in the MCG.

Subsequent works tried to refine the symbol  $\omega$  to construct a modified reachability tree (MRT) (Wang, 1991, Wang *et al.*, 2004) by introducing  $\omega$ -number (i.e., an infinite set of numbers). Unfortunately, in the general case it has been proved in (Ru *et al.*, 2006) that this procedure still produces unreachable marking in the tree, and thus, properly speaking, is not a reachability tree. However, for 1-place-unbounded PNs, a special class of nets where there exists only one unbounded place, (Wang *et al.*, 2010) proposed an improved reachability tree that can exactly describe the reachable marking set. Recently a new modified reachability tree approach has been proposed for a class of unbounded generalized Petri nets, called  $\omega$ -independent nets (Wang *et al.*, 2015b, Wang *et al.*, 2015a). For 1-place-unbounded SynPNs, (Wu *et al.*, 2017) propose a new algorithm for constructing a finite graph named improved modified coverability graph (IMCG) by extending the method presented in (Wang *et al.*, 2010). The IMCG allows us to represent exactly all reachable markings of the given net and thus provides a exact representation of the unbounded net state space.

This paper is structured as follows. Section 2 presents the basic formalism on synchronized Petri nets and results on the relaxed assumption and on the improved modified coverability graph for 1-place-unbounded SynPNs. Section 3 focuses on conclusion and perspective of our work.

## 2. Coverability graphs for unbounded Synchronized Petri nets

A *synchronized Petri net* (SynPN) is a structure  $\langle N, E, f \rangle$  such that : i)  $N$  is a PN; ii)  $E$  is an alphabet of input events; iii)  $f : T \rightarrow E$  is a labeling function that associates with each transition  $t$  an input event  $f(t)$ . A *marked synchronized PN*  $\langle N, E, f, M_0 \rangle$  is a SynPN with an initial marking  $M_0$ . We denote the set of transitions associated with the input event  $e$  by :  $T_e = \{t \in T | f(t) = e\}$  and the set of enabled transitions associated with event  $e$  at marking  $M$  as :  $\varepsilon_e(M) = T_e \cap \varepsilon(M)$ , where  $\varepsilon(M)$  is the set of enabled transitions at  $M$ . The evolution of a synchronized net is driven by the occurrence of an input event sequence that produces a set of transition firings. At marking  $M$ , transition  $t \in T$  is fired only if :

- 1) transition  $t$  is enabled, i.e.,  $t \in \varepsilon(M)$  ;
- 2) the event  $e = f(t)$  occurs.

Note that the occurrence of an input event  $e \in E$  at marking  $M$  forces the simultaneous firing of all transitions in  $\varepsilon_e(M)$  provided there are no conflicts among them. On the contrary, the occurrence of an event  $e$  does not produce the firing of a non enabled transition  $t \in T_e$ .

The formal definition of vanishing marking is cited from (Pocci *et al.*, 2016) as follows.

**Definition 1** (Vanishing steps and vanishing marking) *Given a marked SynPN  $\langle N, M_0, E, f \rangle$ , and let  $\mathcal{G}$  be its MCG constructed by means of the algorithm in (Pocci *et al.*, 2016). Suppose that there exists in  $\mathcal{G}$  an  $\omega$ -marking  $M_\omega$  and there exists in the net a reachable marking  $M \in \text{cov}(M_\omega)$  such that for some input event  $e \in E$  :*

- i)  $M[e|\tau]$ , i.e., step  $e|\tau$  is firable from  $M$ , with  $\tau \neq \emptyset$  ;
- ii)  $M_\omega[e|\tau']$  with  $\tau' \supseteq \tau$ , i.e., a “larger” step  $e|\tau'$  is firable from  $M_\omega$ .

*Then step  $e|\tau$  is called a vanishing step. A marking that can only be reached in the net by firing a sequence containing a vanishing step is called a vanishing marking.*

### 2.1. Relaxed assumption on modified coverability graph

In the following context,  $M_\omega$  denotes an  $\omega$ -marking, whose components may either be an integer number or be equal to  $\omega$  and  $P_u(M_\omega)$  is the set of unbounded places at marking  $M_\omega$ , i.e.,  $P_u(M_\omega) = \{p \in P : M_\omega(p) = \omega\}$ .

To avoid vanishing markings in the MCG as defined in (Pocci *et al.*, 2016), the following structural assumption is needed.

**Assumption 1** (Previous assumption) *Given a marked SynPN  $\langle N, M_0, E, f \rangle$ , let  $P_u \subseteq P$  be the set of markings that are unbounded according to the MCG  $\mathcal{G}$  constructed by means of the algorithm in (Pocci et al., 2016), i.e.,*

$$P_u = \{p \in P \mid \exists M_\omega \in \mathcal{G} : M_\omega(p) = \omega\}$$

*we assume that every transition  $t \in P_u^\bullet$  is such that  $\nexists t' \in T, t \neq t' \wedge f(t) = f(t')$ .*

In simple words, Assumption 1 ensures that any transition outputting a place detected as unbounded by the MCG is associated with an input event which is not shared with any other transition. Obviously, this is an assumption that can only be checked if it holds once after the construction of the corresponding MCG. Besides, there may exist many choices in the net, which would cause some potential unbounded places not marked as  $\omega$  simultaneously in the same nodes in MCG, i.e., the outputting transitions of these places can share the same input event.

Based on the above two reasons, we propose the following relaxed assumption, that enlarges the class of SynPNs for which no existence of vanishing markings in the MCG and this assumption can be checked dynamically as the constructing of MCG.

**Assumption 2** (Relaxed assumption) *Given a marked SynPN  $\langle N, M_0, E, f \rangle$ , let  $\mathcal{M}_\omega$  be the set of nodes whose components contain symbol  $\omega$  in MCG  $\mathcal{G}$  constructed by means of the algorithm in (Pocci et al., 2016), we assume that for each element  $M_\omega \in \mathcal{M}_\omega : \forall t \in P_u(M_\omega)^\bullet$  is such that  $\nexists t' \in \varepsilon(M_\omega), t \neq t' \wedge f(t) = f(t')$ .*

*In simple words, for any transition  $t$  in set  $P_u(M_\omega)^\bullet$ , we have  $\varepsilon_{f(t)}(M_\omega) = \{t\}$ .*

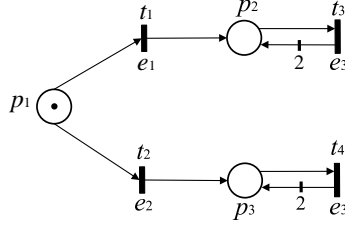
**Proposition 1** *There exists no vanishing steps or vanishing markings in the MCG of unbounded PNs satisfying Assumption 2.*

**Proof :** Based on the definition of vanishing steps and vanishing markings given in (Pocci et al., 2016), if for all  $M \in \text{cov}(M_\omega)$ , all firable steps  $e|\tau$  at marking  $M$  can also be fired at marking  $M_\omega$ , then there is no vanishing steps or vanishing markings in the MCG of unbounded PNs, i.e., if we have  $M[e|\tau]$ , then we will have  $M_\omega[e|\tau]$ . However, a step  $e|\tau'$  will normally be generated when an input event  $e$  occurs at marking  $M_\omega$  with  $\tau \subseteq \tau'$ . Now *Proposition 1* will be proved if we can prove  $\tau = \tau'$ . We can remark that  $\tau$  is not an empty set. Given that  $\tau$  is a subset of  $\tau'$ , we only need to prove that  $\tau'$  is also a subset of  $\tau$ .

For  $t \in \tau'$  there are two cases :

– Case 1 :  $t \in P_u(M_\omega)^\bullet$ . In this case according to assumption 2, we have  $|T_e \cap \varepsilon(M_\omega)| = 1$  that means set  $\tau' = \varepsilon_e(M_\omega)$  contains only one element  $t$ , i.e.,  $\tau' = \{t\}$ . Given that  $\tau \subseteq \tau'$  and  $\tau$  is not an empty set, we conclude  $\tau = \tau' = \{t\}$ , i.e.,  $t \in \tau$ .

– Case 2 :  $t \notin P_u(M_\omega)^\bullet$ . This means that whether  $t$  is enabled or not is only decided by the number of tokens in all the bounded places at marking  $M_\omega$ . By the fact  $\forall p \notin P_u(M_\omega), M(p) = M_\omega(p)$ ,  $t$  is also enabled at marking  $M$ , namely  $t \in \tau$ .



**Figure 1.** A synchronized Petri net respecting Assumption 2

In conclusion we prove that sets  $\tau$  and  $\tau'$  are equivalent under this relaxed assumption 2. ■

Here a simple example is introduced to illustrate that this relaxed assumption is less restrictive than the previous one.

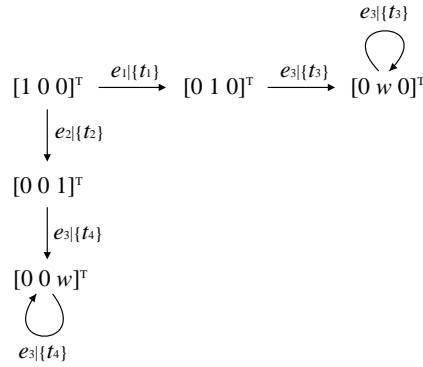
**Example 1** Consider the net in Fig. 1. Its modified coverability graph constructed by the algorithm in (Pocci et al., 2016) is shown by Fig. 2. There are two  $\omega$ -marking in this MCG:  $M_{\omega_1} = [0 \ \omega \ 0]^T$  and  $M_{\omega_2} = [0 \ 0 \ \omega]^T$  with  $P_u(M_{\omega_1}) = \{p_2\}$ ,  $P_u(M_{\omega_1})^\bullet = \{t_3\}$  and  $P_u(M_{\omega_2}) = \{p_3\}$ ,  $P_u(M_{\omega_2})^\bullet = \{t_4\}$ . Therewith  $P_u = \{p_2, p_3\}$ ,  $P_u^\bullet = \{t_3, t_4\}$ .

We note that  $t_3 \in P_u^\bullet$  and  $f(t_3) = e_3 = f(t_4)$ , therefore this net does not satisfy Assumption 1, while it satisfies Assumption 2 because for all  $M_{\omega_i}$  ( $i = 1, 2$ ), no transition in the set  $P_u(M_{\omega_i})^\bullet$  shares the label with any other transitions enabled at  $M_{\omega_i}$ . Meanwhile we can find that input sequence  $e_1 e_2$  is a synchronizing sequence for this net from the MCG in Fig. 2, which drives the marking of the only bounded place  $p_1$  to a certain state 0. From another side, it implies that this relaxed assumption is not in conflict with the existence of synchronizing sequences.

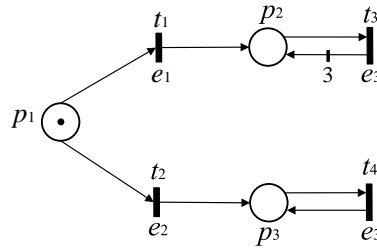
Note that both assumptions can be verified only dynamical, i.e., one cannot check whether they hold or not by only taking account of the net structure.

## 2.2. Improved modified coverability graph

In this section, we recall by means of an example a technique proposed in (Wu et al., 2017) that applies to 1-place-unbounded SynPNs, a subclass of SynPNs which have one and only one unbounded place. For this class of nets one can construct an improved modified coverability graph (IMCG). Such a graph derives from the construction method of (Karp et al., 1969), (Wang et al., 2010) and (Pocci et al., 2016) and from the notion of  $\omega$ -numbers defined in ((Wang, 1991) as follows.



**Figure 2.** Modified coverability graph of the SynPN in Fig. 1

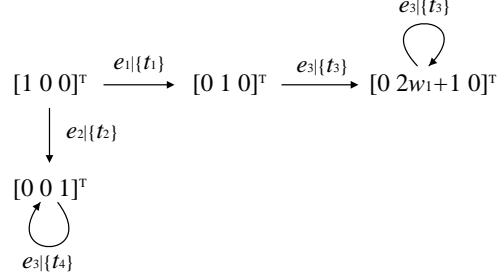


**Figure 3.** A synchronized Petri net

**Definition 2** ( $\omega$ -number) Let  $n \in \mathbb{Z}$ ,  $k, q \in \mathbb{N}$ , and  $0 \leq q < k$ . Then  $\mathbb{S} = \{(i \cdot k + q) | i \in \mathbb{Z} \wedge i \geq n\}$  is called an  $\omega$ -number, with  $k$  as its base,  $n$  the lower bound, and  $q$  the remainder. An element in  $\mathbb{S}$  is called an instance of  $\mathbb{S}$ , and the minimal instance is  $S_{min} = n \cdot k + q$ .

**Definition 3** ( $\omega$ -vector) : A  $m$ -dimension vector  $V = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_m]^T$  is called an  $\omega$ -vector if at least one of its components is an  $\omega$ -number, else it is called ordinary vector.

**Example 2** The improved modified coverability graph of the SynPN in Fig.3 with  $M_0 = [1 \ 0 \ 0]^T$ , is shown in Fig.4. In the following, notations “\” and % are, respectively, used for quotient and remainder operations.



**Figure 4.** The IMCG of the synchronized PN of Fig.3.

The initial node of IMCG is  $q_0$  with its marking  $M_{q_0} = [1\ 0\ 0]^T$ . Consider event  $e_1$  at  $q_0$ , it will generate a new node  $q'$  with  $M_{q'} = [0\ 1\ 0]^T$  after the firing of step  $e_1\{t_1\}$ . Continuing to apply event  $e_3$  at node  $q'$ , a new node  $q''$  is generated with marking  $M' = [0\ 3\ 0]^T$  which is strictly greater than the marking  $[0\ 1\ 0]^T$  on the path from  $q'$  to the initial node. By verifying that  $e_3$  is an increasing sequence which can be repeated infinitely from node  $q'$  by adding 2 tokens on place  $p_2$ , we update the marking of  $p_2$  with an  $\omega$ -number  $k\omega_n + r$  where  $k = M'(p_2) - M_{q'}(p_2) = 2$ ,  $n = M'(p_2) \setminus k = 1$ , and  $r = M'(p_2) \% k = 1$ . Thus the new marking of  $q''$  is  $[0\ 2\omega_1 + 1\ 0]^T$ . Finally, we obtain the IMCG depicted in Fig.4 for the net in Fig.3.

It is obvious that the IMCG contains more information than the MCG due to the presence of  $\omega$ -number.

### 3. Conclusion and perspective

In this paper we first present a relaxed assumption that enlarges the scope of synchronized Petri nets to be unfolded testing work which have no vanishing marking in its corresponding modified coverability graph. Then a technique for 1-place-unbounded synchronized Petri nets is introduced, called improved modified coverability graph, which guarantees that there exists no vanishing marking in the graphs for this class of nets.

Based on the IMCG, we first extended the notion of synchronization problems for 1-place-unbounded SynPNs. In (Pocci *et al.*, 2014, Pocci *et al.*, 2016), synchronization only concerns the markings of bounded places. Now we also take into consideration of the marking of the unique unbounded place, although we aim to synchronize it to an interval, i.e., a range of possible values. Then synchronizing sequences can be computed as follows : for a given SynPN, we set its IMCG as the initial state uncertainty, then SSs can be obtained through concatenating iteratively the merging sequences for two states in the IMCG. Secondly, we extended SynPNs into a new framework by



adding outputs on transitions. Hence, homing sequences can be defined for SynPNs by considering the output information obtained by the firing of transitions. The computation of HSs can be addressed for 1-place-unbounded nets following an approach similar to that used for SSs.

In the future, we will concentrate on the decidability and complexity analysis of these problems by exploring the relationship between synchronized Petri nets and branching vector addition systems. Then develop efficient computation algorithms for synchronizing sequences and homing sequences if they are decidable.

#### 4. Publication

Wu, C., Demongodin, I. and Giua, A. "Conversion of 1-Place-Unbounded Synchronized Petri Nets into Weighted Automata", *IFAC 2017 World Congress*, to appear.

#### 5. Bibliographie

- Karp R. M., Miller R. E., « Parallel program schemata », *Journal of Computer and System Sciences*, vol. 3, n° 2, p. 147 - 195, 1969.
- Pocci M., Demongodin I., Giambiasi N., Giua A., « Testing experiments on unbounded systems : synchronizing sequences using Petri nets », *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 47, n° 2, p. 155-161, 2014.
- Pocci M., Demongodin I., Giambiasi N., Giua A., « Synchronizing sequences on a class of unbounded systems using synchronized Petri nets », *Discrete Event Dynamic Systems*, vol. 26, n° 1, p. 85-108, 2016.
- Ru Y., Wu W., Hadjicostis C., « Comments on " A Modified Reachability Tree Approach to Analysis of Unbounded Petri Nets" », *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part B*, vol. 36, n° 5, p. 1210, 2006.
- Wang F., « A modified reachability tree for Petri nets », *Systems, Man, and Cybernetics, 1991. Decision Aiding for Complex Systems, Conference Proceedings., 1991 IEEE International Conference on*, IEEE, p. 329-334, 1991.
- Wang F., Gao Y., Zhou M., « A modified reachability tree approach to analysis of unbounded Petri nets », *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, vol. 34, n° 1, p. 303-308, 2004.
- Wang S., Gan M., Zhou M., You D., « A reduced reachability tree for a class of unbounded Petri nets », *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, vol. 2, n° 4, p. 345-352, 2015a.
- Wang S., Zhou M., Gan M., You D., Li Y., « New reachability trees for unbounded Petri nets », *2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, IEEE, p. 3862-3867, 2015b.
- Wang Y., Jiang B., Jiao L., « Property checking for 1-place-unbounded Petri nets », *Theoretical Aspects of Software Engineering (TASE), 2010 4th IEEE International Symposium on*, IEEE, p. 117-125, 2010.
- Wu C., Demongodin I., Giua A., « Conversion of 1-Place-Unbounded Synchronized Petri Nets into Weighted Automata », *IFAC 2017 World Congress*, p. to appear, 2017.

# **Proposition d'un banc d'essai pour la mesure de la concentration de plusieurs gaz via les tubes à décharges**

**A. HARAKEH**

*Laboratoire LSIS UMR 7296  
Aix Marseille Université, Campus de St Jérôme  
13397 Marseille  
France  
aref.harakeh@lsis.fr*

---

*RÉSUMÉ. Dans ce projet, nous étudions un capteur optique dédié pour la mesure des concentrations gazeuses dans un mélange de gaz. La mesure se fait en traitant numériquement les images des couleurs prises dans un tube à décharge lors de l'ionisation du gaz. De ce fait, on présente dans un premier temps une étude théorique de la physique de tube à décharge. Ainsi, on présente la conception du système expérimentale qui sera mise en œuvre dans le but de réaliser plusieurs essais de mesure de gaz.*

*ABSTRACT: In this project, we are studying an optical gas sensor for measurement of gaseous concentrations in a mixture of several gases. Measurement is done by numerically processing the image of the colours taken from a gas discharge tube after ionizing the gases injected inside it. Therefore, in this article, we present in a first step a theoretical study of gas discharge tubes. Then, we present the design of the practical test bench that will be implemented so that several gas measurement tests could be established.*

*MOTS-CLÉS : Capteur Optique, Décharge Electrique, Tube à Décharge, Emission Optique*

---

## 1. Introduction

Les capteurs de gaz sont beaucoup utilisés dans plusieurs domaines (industrie, environnement, automobile, ...) Le besoin de détecter un ou plusieurs gaz est dans nos jours une demande très courante. L'analyse des émissions gazeuses s'effectue actuellement dans des laboratoires avec des équipements chers, parfois encombrant et dont chacun est utilisé pour la détection d'un gaz spécifique.

En plus, plusieurs principes physiques sont mis en jeu pour effectuer l'ensemble de ces mesures. Il devient de plus en plus indispensable, avec un seul principe physique, de pouvoir mesurer les concentrations de plusieurs gaz dans un seul mélange avec un capteur miniature peu coûteux. Le principe de fonctionnement de ce capteur est le suivant : un mélange gazeux dans un tube à décharge émet par ionisation un mixage de couleurs propres pour chaque gaz (Lakkis, 2014). La couleur finale produite est proportionnelle aux concentrations gazeuses dans le mélange.

Le système expérimental consiste en un système mécanique pour le remplissage de ce mélange gazeux dans le tube, un système électrique pour l'alimentation du tube à décharge, ainsi que d'autres équipements, un système de commande pour le pilotage du banc d'essai et pour l'acquisition des données, et un système optique pour la récupération de l'image émis par le tube à décharge après l'ionisation du gaz

Dans ce rapport, nous présentons une étude théorique pour la physique de tube à décharge, ainsi que le problème d'optimisation à exploiter dans l'avenir pour optimiser la forme de tube, la tension d'alimentation du tube et la pression dedans le tube. Dans un second temps, nous effectuons une présentation détaillée pour la conception du banc d'essai du capteur. Celui-ci sera mise en œuvre dans le but de réaliser plusieurs essais de mesure de gaz.

## 2. Etat de l'art :

Une décharge électrique est essentiellement une circulation de courant électrique dans un gaz. Il est caractérisé par la génération d'ions dans le gaz après l'application d'un champ électrique De ce fait, deux points essentiels doivent être étudiés afin de mieux comprendre cette décharge électrique (David B. Go, 2012). :

1. La création d'ions (Ionisation)
2. Le mouvement d'ions (Transport d'ions)

### 2.1 Classification des décharges électrique :

Les décharges électriques peuvent être classé dans deux groupes selon le mode d'opération :

**2.1.1 Décharges à tension continue :** Décharges électriques suite à l'application d'un champ électrique statique.

- \*Décharge Luminescente (Glow discharge)
- \*Décharge Corona (Corona discharge)
- \*Décharge Cathode Creuse (Hollow cathode discharge)

**2.1.2 Décharges en courant alternatif :** Décharges électriques sous l'influence d'un champ électrique alternatif.

- \*Décharges barrière diélectrique
- \*Radio Fréquence (RF)  $10^2$  to  $10^8$ Hz
- \*Microondes  $10^9$  to  $10^{11}$ Hz
- \*Optique

Les décharges consistent de différents types de particule (gaz neutre, gaz excité, molécules de gaz ionisé (ions), et électrons). Chacune de ces particules a une énergie cinétique moyenne. En général, l'énergie (en Joules J ou électron volts eV) peut être exprimée comme la produit de la température T (Kelvin K) par la constante de Boltzmann.

$$\varepsilon = k_B \cdot T \quad [1]$$

$$\text{Où : } k_B = 1.3807 \times 10^{-23} \text{ J/K} = 8.617343 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$$

Pour cela, les décharges électriques peuvent aussi être classées selon leurs propriétés thermodynamiques (Becker K. H., Kogelschatz U., Schoenbach, 2005) :

**Non équilibre, Température Basse :** La température de l'électrons est supérieure à celle du gaz et de l'ion.  $T_{\text{elec}} \gg \gg \gg T_{\text{gas}} \sim T_{\text{ion}} \sim 10^2 \text{ K}$ .

**Equilibre, Température Moyenne :** La température de l'électrons ainsi que celle du gaz et de l'ion sont en équilibre et assez élevée par rapport à la température ambiante.  $T_{\text{elec}} \sim T_{\text{gas}} \sim T_{\text{ion}} \sim 10^4 \text{ K}$

**Equilibre, Température Haute :** La température de l'électrons ainsi que celle du gaz et de l'ion sont en équilibre et beaucoup plus élevée en comparaison avec la température ambiante.  $T_{\text{elec}} \sim T_{\text{gas}} \sim T_{\text{ion}} \sim 10^6 \text{ K}$

## 2.2 Ionisation :

Il s'agit d'une création d'ions de telle sorte que le gaz interstitiel entre deux électrodes se transforme d'un isolant à un conducteur. Pour créer une décharge, deux processus sont indispensables, un processus gazeux et un autre cathodique (Lieberman M. A. and Lichtenberg A. J. 2005)

### 2.2.1 Les Réactions gazeuses :

En alimentant le tube à décharge avec une tension électrique, les électrons s'accélèrent, et donc plusieurs collisions avec les atomes et les molécules de gaz surviennent. Ces collisions peuvent classées dans trois catégories :

\***Collisions Élastiques** :  $e^- + M \rightarrow e^- + M$

\***Collision Inélastique (Excitation)** :  $e^- + M \rightarrow e^- + M^*$  (Condition :  $\varepsilon_e \geq E_{M^*}$ )

\***Collision Inélastique (Ionisation)** :  $e^- + M \rightarrow 2e^- + M^+$  (Condition :  $\varepsilon_e \geq E_{ion}$ )

Pour que l'excitation et l'ionisation se produisent, l'énergie cinétique des électrons incidents  $\varepsilon_e$  doit être supérieure ou égale à l'énergie minimale pour l'excitation  $E_{M^*}$ , ou ionisation  $E_{ion}$ , respectivement.

La réaction d'ionisation est très intéressante vu qu'elle génère un électron supplémentaire (plus un ion positif). Cependant, tous les collisions citées ci-dessus sont importantes. La réaction d'excitation est également très indispensable étant donné qu'elle produit l'effet désiré d'une décharge qui est la lumière.

### Collisions Élastiques:

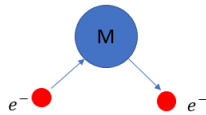


Figure 1 : Collision élastique

Ici, l'électron bouge beaucoup plus vite que la molécule. L'électron entre en collision avec la molécule et change sa direction.

### Collision Inélastique (Excitation) :

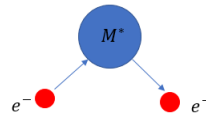


Figure 2 : Collision inélastique (excitation)

Quand on accélère suffisamment un électron, l'énergie cinétique de ce dernier est transférée à la molécule neutre et il la sort de son état de repos pour l'amener à un état d'énergie supérieure. Le système est alors dans un **état excité**. Cette collision est dite inélastique vu que l'énergie cinétique n'est pas conservée. La plupart des molécules disposent de plusieurs états excités, et chacune a une énergie seuil différente. De ce fait, pour obtenir une excitation, l'énergie de l'électron entrant en collision doit dépasser le seuil d'énergie d'excitation  $E_M$  (David B. Go, 2012).

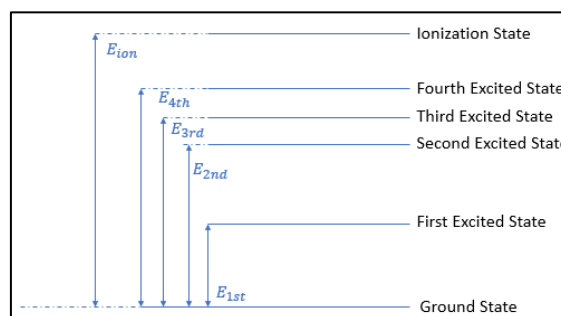


Figure 3 : Niveau d'Énergie d'une molécule neutre

La raison pour laquelle une décharge est lumineuse est que quand on excite le neutre, il relax après à son état fondamental. Ce qui libère la différence d'énergie émettant un photon. C'est pourquoi la couleur de la décharge dépend du type de gaz utilisé, car la longueur d'onde de la lumière émise dépend du niveau d'énergie de l'atome ou de la molécule dans le gaz.

(Par exemple, la décharge dans le néon émet une couleur orange, par contre une décharge dans l'argon émet une couleur violet foncé).

#### Collision Inélastique (Ionisation) :

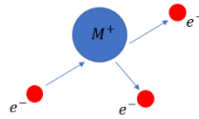


Figure 4 : Collision inélastique (ionisation)

Dans ce cas, un électron ayant une énergie cinétique suffisante (de l'ordre de 10-20 eV) peut provoquer un détachement de l'électron de sa molécule qui produit un autre électron ainsi qu'un ion.

#### 2.2.2 La Fréquence d'Ionisation :

L'ionisation des atomes et des molécules par l'impact d'un électron est un mécanisme très important pour la génération de décharge dans le tube. Par définition, la fréquence d'ionisation est le nombre d'évènements d'ionisation se produisant par un électron par seconde (Razer Y. 1991)

$$v_i = N \cdot \frac{\int n(\varepsilon) \cdot v \cdot \sigma_i(\varepsilon) d\varepsilon}{\int n(\varepsilon) d\varepsilon} \quad [2]$$

Où :

$v_i$  : La Fréquence d'ionisation

$N$  : Le densité numérique (Le nombre total de molécules neutres avec lequel un électron peut entrer en collision)

$n(\varepsilon)$  : nombre d'électrons ayant une énergie cinétique  $\varepsilon$ . (Electron energy density distribution (EEDF))

$v$  : La vitesse de l'électron

$\sigma(\varepsilon)$  : section efficace de collision d'un atome (collision cross section of atomes.)

#### 2.3 Le problème d'optimisation :

Vu que notre but est de mesurer le pourcentage de chaque gaz dans un mélange gazeuse, donc nous devons augmenter la luminescence de la décharge autant que possible afin de récupérer une image claire portant le plus d'information possible pour pouvoir la traiter après.

La fonction objectif à optimiser seraient : la fréquence d'ionisation de chaque gaz

Une fonction à maximiser car la maximisation de fréquence d'ionisation résulte en plus de photons, la lumière serait ensuite plus intense.

Les contraintes : contraintes géométriques : Rayon de tube à décharge, distance entre électrode, diamètre d'électrodes....

Contraintes physiques (plafond pour la tension, plancher pour la pression...)

### 3. La Loi de Paschen :

#### 3.1 définition :

Cette loi indique que l'apparition d'une décharge électrique dans un gaz, à une certaine tension de claquage  $V_{\text{Claquage}}$ , est une fonction généralement non linéaire du produit de la pression  $p$  du gaz par la distance  $d$  entre les deux électrodes (Razer 1991).

$$V_{\text{Claquage}} = \frac{Bpd}{C + \ln(pd)} \quad [3]$$

$$C = \ln \left[ \frac{A}{\ln(1 + \frac{1}{\gamma})} \right] \quad [4]$$

$A$  ( $\text{Torr}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) et  $B$  ( $\text{V} \cdot \text{Torr}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) sont des constants spécifiques à chaque gaz et sont mesurés expérimentalement.

$\gamma$  : la deuxième constante de Townsend qui dépend de la forme d'électrode et du gaz.

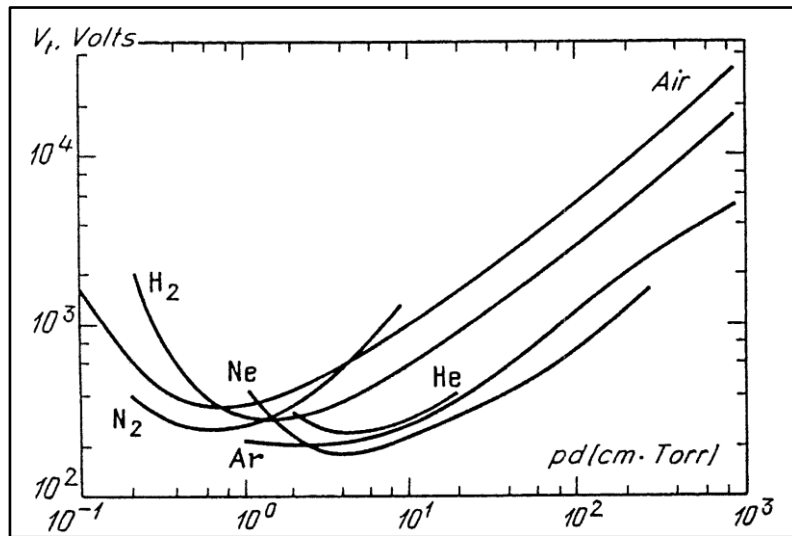


Figure 5 : Les courbes de Paschen (la tension de claquage en fonction du p.d le produit entre la pression et de la distance entre électrodes) pour plusieurs gaz. (Razer Y. 1991)

### 3.2 Démonstration de l'équation de Paschen

La théorie de claquage électrique de Townsend (Townsend's theory of electrical breakdown). On introduit le coefficient  $\alpha$  : premier coefficient de Townsend qui représente le taux d'ionisation pour les électrons ayant une vitesse de dérive (drift) dans la direction de champ électrique  $\mathbf{E}$ .

On introduit aussi le nombre d'électrons  $N_e$  et d'ions  $N_i$  suite à une avalanche d'électrons à une distance  $x$  de la cathode

$$N_e = e^{\alpha x} \text{ et } N_i = e^{\alpha x} - 1 \quad [5] \text{ et } [6]$$

A  $x=0$ , il n'y a pas d'ion et ce n'est pas possible d'avoir une avalanche d'électrons non plus.

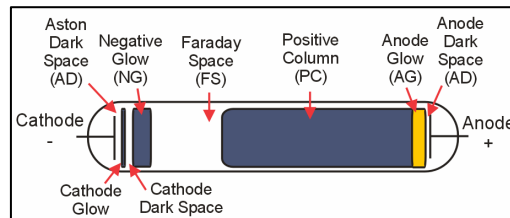


Figure 6 : Tube à décharge

On introduit également  $\gamma$  le deuxième coefficient de Townsend qui représente la probabilité qu'un ion génère un électron secondaire de la cathode. Celui-ci dépend du gaz, du matériau de l'électrode, et de la condition de surface (Raizer 1991).

Le nombre maximal d'électrons secondaires générés d'un nombre maximal d'ions positives (produits grâce à un avalanche) à une distance  $d$  de la cathode peut s'écrire comme :

$$N_{e,sec} = \gamma(e^{\alpha d} - 1) \quad [7]$$

Vu qu'il y a un ou plusieurs électrons secondaires pour maintenir la décharge, on peut écrire :

$$\gamma(e^{\alpha d} - 1) = 1 \quad [8]$$

La valeur de  $\alpha$  est une fonction  $\alpha\left(\frac{E}{p}\right) = p \cdot A \cdot e^{-B \frac{p}{E}}$  [9]

$A$  et  $B$  sont des constants spécifiques dépendant du gaz  
 $p$  est la pression du gaz

Equation [8] nous donne :

$$\alpha d = \ln\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) \quad [10]$$

On substitue [9] dans [8] :

$$p A d e^{-B \frac{p}{E}} = \ln\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) \quad [11]$$

Pour un champ électrique constant :  $E = \frac{V_{claquage}}{d}$



$$d = \frac{e^{Bpd/Vc}}{pA} \cdot \ln\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) \quad [12]$$

La tension de claquage est alors :

$$V_{\text{Claquage}} = \frac{Bpd}{\ln\left[\frac{Apd}{\ln\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right)}\right]} \quad [13]$$

#### 4. La Conception du Banc d'essai :

Dans cette partie, on présente l'étude qui a été faite pour le choix des éléments de chaque système ainsi que leur rôle dans l'expériment.

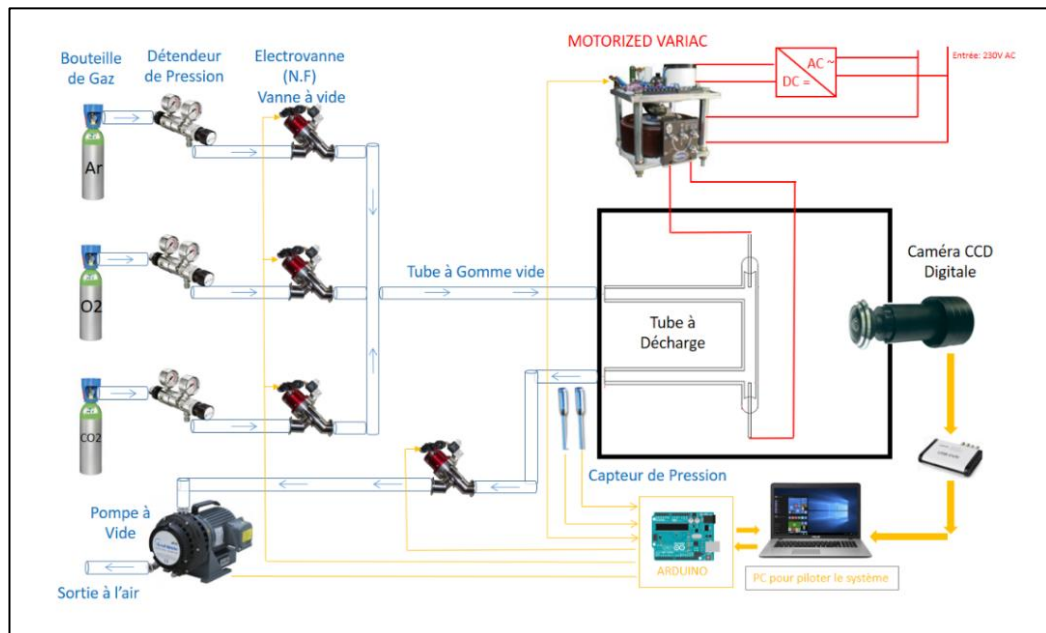


Figure 7 : Schéma banc d'essai du capteur

##### 4.1 Le Système mécanique :

1. Quatre bouteilles de gaz :

- \* Une bouteille de gaz Argon, S10, Pression 200 bar (Taille petite)
- \* Une bouteille de gaz Oxygène, S10, Pression 200 bar (Taille petite)
- \* Une bouteille de gaz Hélium, S10, Pression 200 bar (Taille petite)
- \* Une bouteille de gaz CO2, M14, Pression 49,5 bar (Taille moyenne)

2. Quatre détendeurs de pression :

Détendeur bouteille double détente à piston et à soufflet, en laiton chromé équipé de deux manomètres. (Tube de type Bourdon) (Un haute pression, un basse pression). Plage de pression aval : 0-1 bar. Ces détendeurs sont dédiés pour les applications exigeant une grande précision de pression. La pression d'entrée étant toujours 1 bar. Ces détendeurs répondent aux besoins de ce système vu qu'il injecte le gaz à une pression constante et stable.

3. Cinq vannes à vides (électrovanne) : La fuite dans le système mécanique représente un problème majeur puisque le mélange final ne serait pas précis en sa présence. C'est pourquoi, ces vannes à vides sont très utiles pour garantir que le mélange dans le tube soit précis grâce à l'étanchéité qu'ils disposent.

4. Deux capteur de pression Optique (Fibre Optique) : Un capteur avec une gamme de mesure de 0-344 mbar et un autre avec une gamme 0-1034 mbar.

5. Pompe à vide sèche : pour baisser la tension dans le tube (vide limite jusqu'à  $5 \cdot 10^{-2}$  mbar).

6. Tuyaux, embouts, et colliers de serrage.

7. Tube à vide gomme (D.int = 6 mm, D.ext = 18 mm) ce tuyau est dédié pour les applications de vide (épaisseur très grande afin de supporter la baisse de pression).

#### 4.2 Le Système Electrique :

1. Autotransformateur VARIAC avec motorisation : entrée : 230 V, Sortie : 0 - 600 V, piloté par un moteur DC pour varier la tension de sortie.

2. Alimentation Stabilisée : Transformateur 230V AC - 24 DC, 2,5A : pour l'alimentation des électrovannes et du moteur DC du VARIAC.

3. Transformateur de contrôle : 600V-230V, pour la mesure de tension lorsqu'on change la tension aux bornes de tube à décharge.

4. Un capteur de tension : Une carte électronique compatible avec Arduino pour mesurer la tension de sortie du VARIAC.

#### 4.3 Le Système de Contrôle :

Carte Arduino MEGA et cartes relais : Le contrôle se fait par une carte électronique Arduino MEGA qui est connecté à l'ordinateur PC pour l'automatisation du processus entière (pilotage, à l'aide des relais, des électrovannes, du VARIAC, de la pompe à vide, du capteur de pression, de la caméra CCD, etc...) et pour la lecture et l'acquisition des données (pression à la sortie du tube, tension de transformateur, etc...). Un convertisseur analogique numérique de haute précision (16 bits) est également utilisé pour que les données acquises soient précises.

#### 4.4 Le Système Optique :

1. Caméra RGB Digital (CCD, 3 bandes) : cette caméra permet de mesurer un mélange de 4 gaz maximum (Nombre de gaz = nombre de bandes + 1, Lakkis S, Younes R, Ghandour M, Alayli Y 2015).

Une caméra multi spectrale avec 4 bandes et/ou 7 bandes sera utilisé aussi dans l'avenir.

2. Micro Tube à décharge (électrodes Tungstène) :

\*Distance entre électrodes 35 mm

\*Distance entre électrodes 20mm

#### 4.5 Le Fonctionnement du banc d'essai

Premièrement, nous choisissons le nombre de gaz que nous allons injecter dans le tube et le pourcentage de chacun de ces gaz, et avant de commencer l'injection de nos gaz dans le tube à décharge, nous devons le vider, pour ce faire, nous envoyons un signal de commande pour ouvrir l'électrovanne (5) qui lie le tube à la pompe, et un autre signal pour démarrer la pompe.

Nous attendons quelques secondes, le temps que la pompe aspire tous les résidus du gaz dans le tube et le vide. Puis, on commence par y injecter le premier gaz avec son pourcentage choisi (l'injection se fait par pulsation, c'est à dire l'ouverture et la fermeture de l'électrovanne du premier gaz 10 fois par seconde). Un capteur de pression nous renvoie la pression dans le tube en temps réel, l'injection du premier gaz est finie lorsque le capteur nous envoie la valeur de pression qui reflète la quantité que nous voulons utiliser pour ce premier gaz. Puis nous fermons l'électrovanne (5) et nous arrêtons la pompe.

Nous refaisons la même procédure pour le reste des gaz qu'on veut mélanger avec leurs pourcentages respectifs, la pression totale dans le tube doit être l'unité.

Après remplissage du tube avec un mélange sous une pression de 1 bar, nous allons diminuer la pression à quelques millibars, car l'ionisation d'un gaz se fait à une pression très basse, cette pression est à optimiser lors des expériences. La dépression du gaz dans le tube se fait en ouvrant l'électrovanne (5) et en démarrant la pompe comme nous avons fait lors de la vidange du tube des résidus au début.

Maintenant que le tube contient un mélange de gaz sous faible pression, nous allons l'alimenter afin de l'ioniser. Pour cela, nous allons augmenter la tension aux bornes du tube en démarrant le moteur DC, le moteur est arrêté une fois que la tension aux bornes du tube atteint la tension de claquage.

Une fois que le tube a émis de la lumière, le moteur est arrêté, nous allons récupérer l'image du tube prise par notre caméra CCD. L'image sera traitée à l'aide d'un

programme implémenté sous Matlab, le traitement de cette image nous renvoie les valeurs des intensités des trois couleurs de base (rouge, vert et bleu). Pour avoir le spectre optimal correspondant à un mélange donné, nous allons chercher expérimentalement la tension optimale et la pression optimale qui donne de meilleurs résultats au niveau des intensités des couleurs du spectre.

### **5. Conclusion et Perspective :**

Dans cet article nous avons présenté l'état de l'art pour la physique de tube à décharge ainsi que le problème d'optimisation à adopter dans l'avenir pour optimiser la forme de tube à décharge, la tension d'alimentation, ainsi que la pression dans le tube. Egalement, la conception du banc d'essai du capteur que nous avons proposé a été présenté avec les éléments de chaque système et leurs caractéristiques.

Ainsi, le lien entre ces éléments et le fonctionnement du banc d'essai ont été expliqué. Dans la suite de ce projet, la forme de tube devra être optimisé ainsi que d'autres paramètres physiques comme la tension et la pression. Plusieurs séries des expériences seront effectuées au sein du laboratoire LSIS. L'utilisation d'une caméra multi spectrale sera aussi mise en place pour effectuer une mesure de plus de quatre gaz (extension jusqu'aux huit gaz).

### **6. Bibliographie :**

Becker K. H., Kogelschatz U., Schoenbach K. H., and Barker R. J. *Non-Equilibrium Air Plasmas at Atmospheric Pressure* Institute of Physics Publishing/Philadelphia, 2005.

David B. Go, « Gaseous Ionization and Ion Transport: An Introduction to Gas Discharges », Department of Aerospace and Mechanical Engineering, University of Notre Dame, 2012

Lakkis S, Younes R, Ghandour M, Alayli Y, « New Optical Gas Sensor for Gas Concentration Measurement Using Digital Image Processing », *Sensors and Actuators B: Chemical* 207, 321-329, 2015.

Lakkis S, « New Optical Gas Sensor for Gas Concentration Measurement Using Digital Image Processing », Université de Versailles-St Quentin en Yvelines, 2014.

Lieberman M. A. and Lichtenberg A. J., *Principles of Plasma Discharges and Materials Processing, 2nd ed.*, Wiley-Interscience/New York, 2005.

Nasser, Essam. *Fundamentals of Gaseous Ionization and Plasma Electronics*. New York: Wiley-Interscience, 1971.

Raizer Y. P., *Gas Discharge Physics*, Springer-Verlag/Brelin, 1991.



---

## Simulation numérique du processus d'assemblage de câbles flexibles en grands déplacements.

Emmanuel<sub>1</sub> Cottanceau<sub>1,2</sub>

<sup>1</sup> Arts et Métiers ParisTech, LSIS UMR CNRS 7296, 8 bd. Louis XIV 59046 Lille,  
France <sup>2</sup> Technocentre Renault, 1 av. Du Golf 78084 Guyancourt, France

---

*RÉSUMÉ.* Une nouvelle méthode de résolution numérique du modèle de poutre géométriquement exact de Reissner-Simo pour la simulation d'assemblage de câbles est présentée dans cet article. Les quaternions sont choisis comme paramètres cinématiques de description des rotations 3D pour leur caractère algébrique. La méthode asymptotique numérique permet une résolution numériquement très efficace des équations polynomiales obtenues. La robustesse de la méthode est illustrée sur des exemples présentant des courbes d'équilibres très complexes.

*ABSTRACT.* Fast and accurate tools for the simulation of flexible car pieces are of great interest for industry. In that order, a method based on a geometrically exact beam model is proposed in this paper. Its main features are: the quaternions as rotation parameters, the finite element method as discretization method and the asymptotic numerical method as solver. The latter allows great robustness, numerical efficiency and is fully automatic. The efficiency of the whole method is proven on several numerical examples. At last, an industrial example is exhibited.

*MOTS-CLÉS :* méthode asymptotique numérique, quaternions, méthode des éléments finis.

*KEYWORDS:* asymptotic numerical method, quaternions, finite element method.

---

## 1. Sujet de thèse

Le développement de l'électronique embarquée a considérablement diminué l'espace disponible dans les voitures. Les besoins en précision ont conséquemment augmenté dans les phases de conception numérique. La simulation de pièces flexibles est en particulier devenue un défi, les temps de calculs devant rester bas et les logiciels commerciaux d'éléments finis 3D étant donc inadaptés. Cet article se concentre sur la simulation des pièces flexibles élancées telles que les câbles électriques, assimilables à une poutre.

## 2. Etat de l'art

De nombreux modèles éléments finis (EF) de poutres géométriquement exacts dérivant du modèle de Reissner-Simo (Reissner, 1981) (Simo et Vu-Quoc, 1986), devenu la référence pour la modélisation de structures élancées subissant de grands déplacements/grandes rotations, ont été proposés durant les dernières décennies (Géradin et Cardona, 2001). La principale différence entre ces modèles réside dans la paramétrisation des rotations et leur interpolation. Le choix du paramètre de rotation est en effet crucial, le critère de choix étant l'équilibre entre efficacité numérique (minimum de paramètres) et stabilité (éviter les singularités). Des travaux récents (Zupan *et al.*, 2013) ont mis en évidence les performances des quaternions en tant que variables principales : ils sont sans singularités, n'ont que 4 paramètres et leur algèbre propre permet d'éviter le recours très coûteux aux matrices de rotation. Ils constituent également une représentation alternative et originale des rotations par leur caractère algébrique et non plus trigonométrique. Les équations obtenues sont ainsi polynomiales.

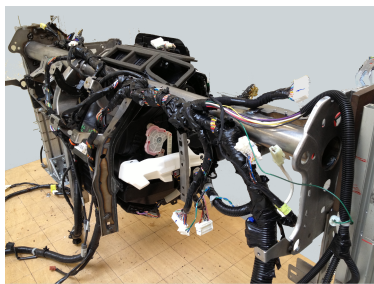


Figure 1 : Câblage d'une planche de bord automobile.

Notre solution numérique tire profit de cette caractéristique en remplaçant dans l'étape de résolution du système non linéaire les méthodes usuelles de prédiction-correction (MPC) par la méthode asymptotique numérique (MAN) (Cochelin, 1994) (Damil et Potier-Ferry, 1990). En effet, cette dernière est particulièrement puissante pour le calcul de solution de systèmes sous forme quadratique. Or, un système polynomial peut être aisément transformé en un système quadratique par l'ajout de variables esclaves supplémentaires. L'utilisation de la MAN permet de pallier les principaux manques bien connus des MPC : elle donne une solution

semi-analytique ( $\neq$  discret), est très robuste pour le suivi de bifurcation et totalement automatique (pas de paramètres à régler). Elle répond ainsi au besoin de plus en plus

courant de calcul de diagrammes d'équilibre complets pour une meilleure compréhension et prédiction des phénomènes réels.

### 3. Apport scientifique

#### 3.1. Équations du problème

##### 3.1.1. Formulation classique

Les modèles de poutre géométriquement exacts se basent sur une description cinématique de la configuration actuelle de la poutre par la position de la fibre neutre  $\mathbf{x}_0$  et l'orientation des sections  $\mathbf{R}$  (Géradin et Cardona, 2001). Les variables cinématiques ne dépendent que de l'abscisse curviligne le long de la poutre de longueur  $L$  dans la configuration initiale  $s \in [0, L]$  (la dérivée par rapport à  $s$  sera dans la suite notée par un prime '). Elles sont définies par rapport à la configuration initiale  $(\mathbf{X}_0, \mathbf{R}_0)$  dans laquelle la poutre est choisie non déformée (figure 2), se plaçant ainsi dans un cadre Lagrangien. Dans cette description, les sections ne restent pas forcément perpendiculaires à la fibre neutre et autorisent ainsi les déformations de cisaillement (modèle de Timoshenko). Sous ces hypothèses, les mesures des déformations de translation et de rotation s'expriment

$$\mathbf{\Gamma} = \begin{bmatrix} \Gamma_1 \\ \Gamma_2 \\ \Gamma_3 \end{bmatrix} = \mathbf{R}^T \mathbf{x}'_0 - \mathbf{\Gamma}_0 \text{ et } \mathbf{K} = \begin{bmatrix} \kappa_1 \\ \kappa_2 \\ \kappa_3 \end{bmatrix} = \text{vect}(\mathbf{R}^T \mathbf{R}') - \mathbf{K}_0, \quad [1]$$

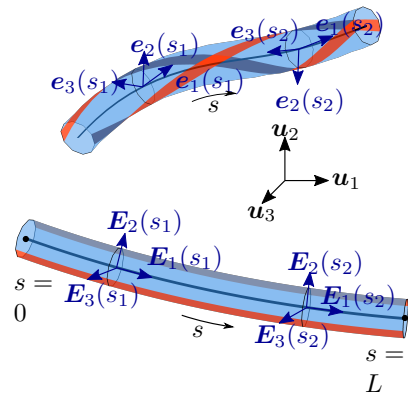


Figure 2 : Cinématique de la poutre : configuration de référence (en bas) et actuelle (en haut).

où  $\mathbf{\Gamma}_0 = \mathbf{R}_0^T \mathbf{X}'_0$  et  $\mathbf{K}_0 = \text{vect}(\mathbf{R}_0^T \mathbf{R}'_0)$  dépendent uniquement de la configuration initiale de la poutre, et l'opérateur  $\text{vect}()$  désigne la partie vectorielle d'une transformation linéaire.  $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_2$  et  $\Gamma_3$  représentent respectivement la déformation axiale de la fibre neutre et les déformations de cisaillement.  $\kappa_1$ ,  $\kappa_2$  et  $\kappa_3$  représentent respectivement la déformation en torsion et les déformations de courbure.

Les 9 composantes de la matrice de rotation  $\mathbf{R}$  n'étant pas indépendantes, une représentation réduite est souvent utilisée. La plus compacte (3 paramètres) consiste à utiliser le vecteur rotation cartésien  $\vartheta$  défini par

$$\vartheta = \vartheta \mathbf{n}, \quad [2]$$

pour une rotation d'angle  $\vartheta$  autour de l'axe défini par le vecteur  $\mathbf{n}$ .

En se basant sur le travail conjointement mené par Reissner (Reissner, 1981) et Simo



(Simo et Vu-Quoc, 1986) et avec les notations précédentes, le principe des travaux virtuels s'écrit

$$\int_0^L (\mathbf{N} \cdot \delta \boldsymbol{\Gamma} + \mathbf{M} \cdot \delta \mathbf{K}) ds = \int_0^L (\mathbf{n}_e \cdot \delta \mathbf{x}_0 + \mathbf{m}_e \cdot \delta \boldsymbol{\vartheta}) ds \quad [3]$$

$$+ \mathbf{n}_e^0 \cdot \delta \mathbf{x}^0 + \mathbf{m}_e^0 \cdot \delta \boldsymbol{\vartheta}^0 + \mathbf{n}_e^L \cdot \delta \mathbf{x}^L + \mathbf{m}_e^L \cdot \delta \boldsymbol{\vartheta}^L,$$

avec les résultantes de force et moment  $\mathbf{N} = [N \ T_2 \ T_3]^T$  et  $\mathbf{M} = [M_t \ M_2 \ M_3]^T$ , et les forces et moments extérieurs  $\mathbf{n}_e$  and  $\mathbf{m}_e$ . Les grandeurs en  $s = 0$  et  $s = L$  sont notées respectivement avec les exposants 0 et  $L$ . Les composantes des résultantes s'interprètent comme la force axiale  $N$ , les forces transverses  $T_2$  et  $T_3$ , le moment de torsion  $M_t$  et les moments de flexion  $M_2$  et  $M_3$ .

Seuls les matériaux élastiques linéaires sont considérés dans cet article. En notant  $\mathbf{E} = [\boldsymbol{\Gamma} \ \mathbf{K}]^T$  et  $\boldsymbol{\Sigma} = [\mathbf{N} \ \mathbf{M}]^T$ , la loi de comportement s'écrit  $\boldsymbol{\Sigma} = \mathbf{C} \mathbf{E}$  avec  $\mathbf{C} = [\mathbf{C}_N \ \mathbf{C}_M]^T = \text{diag}([EA \ GA_2 \ GA_3 \ GJ \ EI_2 \ EI_3])$ .  $E$  et  $G$  sont respectivement le module d'Young et le module de cisaillement;  $A$  est l'aire de la section;  $A_2$  et  $A_3$  sont les aires de cisaillement;  $I_2$  et  $I_3$  sont les moments quadratiques;  $J$  est le moment quadratique polaire.

### 3.1.2. Paramétrisation par des quaternions

L'utilisation d'un quaternion de rotation à la place du vecteur rotation permet de s'affranchir de l'utilisation de la matrice de rotation, et mène ainsi à une formulation plus efficace. L'expression des équations du problème avec l'algèbre des quaternions requiert cependant une modification des équations précédentes. Les quaternions sont l'extension géométrique des nombres complexes pour le plan dans l'espace à trois dimensions. Un quaternion est défini par

$$\hat{\mathbf{a}} = a_0 + ia_1 + ja_2 + ka_3, \quad [4]$$

où  $i$ ,  $j$  et  $k$  sont des imaginaires purs liés par les relations  $i^2 = j^2 = k^2 = -1$ ,  $jk = -kj = i$ ,  $ki = -ik = j$ ,  $ij = -ji = k$ . Par analogie avec les nombres complexes, la notation  $\hat{\mathbf{a}} = a_0 + \mathbf{a}$  avec la partie scalaire  $a_0$  et la partie vectorielle  $\mathbf{a} = [a_1 \ a_2 \ a_3]^T$  se révèle très commode. Un vecteur  $\mathbf{b}$  de  $\mathbb{R}^3$  dans l'espace des quaternions est alors simplement le quaternion de partie scalaire nulle  $\hat{\mathbf{b}} = 0 + \mathbf{b}$ . Et on note  $\mathbf{b} = [\hat{\mathbf{b}}]_{\mathbb{R}^3}$  l'opération inverse. Par ailleurs, on peut aussi écrire un quaternion sous la forme matricielle  $\hat{\mathbf{a}} = [a_0 \ a_1 \ a_2 \ a_3]^T$ . Toutes les opérations usuelles sur les vecteurs se transposent dans l'espace des quaternions. Seul le produit de deux quaternions  $\hat{\mathbf{a}}$  et  $\hat{\mathbf{b}}$ , noté  $\circ$  et issu directement de la définition (4), diffère et vaut  $\hat{\mathbf{a}} \circ \hat{\mathbf{b}} = a_0 b_0 - \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} + (b_0 \mathbf{a} + a_0 \mathbf{b} + \mathbf{a} \times \mathbf{b})$ .

Pour décrire une rotation, un quaternion unitaire (i.e. de norme 1) appelé paramètre d'Euler est utilisé et il se définit par

$$\hat{\mathbf{q}} = \cos\left(\frac{\vartheta}{2}\right) + \mathbf{n} \sin\left(\frac{\vartheta}{2}\right), \quad \|\mathbf{n}\| = 1. \quad [5]$$

Avec ces définitions, on montre (Zupan *et al.*, 2013) que les mesures de déformations (1) se réécrivent dans l'espace des quaternions

$$\widehat{\Gamma} = \widehat{\mathbf{q}}^* \circ \widehat{\mathbf{x}}'_0 \circ \widehat{\mathbf{q}} - \widehat{\mathbf{u}}_1 \quad \text{et} \quad \widehat{\mathbf{K}} = 2\widehat{\mathbf{q}}^* \circ \widehat{\mathbf{q}}' - \widehat{\mathbf{K}}_0. \quad [6]$$

Dans une formulation à 4 paramètres, ceux-ci sont contraints (contrainte d'unité ici), ce qui est pris en compte ici sous la forme d'un multiplicateur de Lagrange  $\mu$  dans les équations. Le nouveau principe des travaux virtuels s'écrit alors

$$\begin{aligned} \int_0^L (\widehat{\mathbf{N}} \cdot \delta \widehat{\Gamma} + \widehat{\mathbf{M}} \cdot \delta \widehat{\mathbf{K}}) ds &= \int_0^L (\widehat{\mathbf{n}}_e \cdot \delta \widehat{\mathbf{x}}_0 + 2(\widehat{\mathbf{q}} \circ \widehat{\mathbf{m}}_e) \cdot \delta \widehat{\mathbf{q}}) ds \\ &+ \widehat{\mathbf{n}}_e^0 \cdot \delta \widehat{\mathbf{x}}_0^0 + 2(\widehat{\mathbf{q}}^0 \circ \widehat{\mathbf{m}}_e^0) \cdot \delta \widehat{\mathbf{q}}^0 + \widehat{\mathbf{n}}_e^L \cdot \delta \widehat{\mathbf{x}}_0^L + 2(\widehat{\mathbf{q}}^L \circ \widehat{\mathbf{m}}_e^L) \cdot \delta \widehat{\mathbf{q}}^L \\ &+ \int_0^L ((\widehat{\mathbf{q}} \cdot \widehat{\mathbf{q}} - 1)\delta\mu + 2\mu\widehat{\mathbf{q}} \cdot \delta\widehat{\mathbf{q}}) ds. \end{aligned} \quad [7]$$

Le principe (7) est la formulation faible du problème à résoudre dont les huit inconnues sont les trois composantes de position, les quatre composantes du quaternion et le multiplicateur de Lagrange qui peuvent être regroupées dans le champ inconnu  $\mathbf{x} = [\mathbf{x}_0 \widehat{\mathbf{q}} \mu]^T$ . On remarquera que la formulation obtenue est polynomiale en  $\mathbf{x}$  grâce à l'usage des quaternions.

### 3.2. Méthode des éléments finis

La formulation continue (7) est discrétisée par la méthode des éléments finies (MEF). La poutre est découpée en  $N_e$  éléments à  $n + 2$  noeuds régulièrement espacés ( $n \geq 0$ ), de longueur égale  $L_e = L/N_e$ . Dans chaque élément, la valeur du champ inconnu  $\mathbf{x}^{(e)}$  au noeud  $i \in \{1, \dots, n + 2\}$  est notée  $\mathbf{x}^i$ . L'élément de référence est défini dans l'espace parent par la coordonnée  $\xi \in [-1, 1]$ . Une approche standard de Galerkin est utilisée dans laquelle les fonctions inconnues  $\mathbf{x}_0$ ,  $\widehat{\mathbf{q}}$  et  $\mu$  et les fonctions test  $\delta \mathbf{x}_0$ ,  $\delta \widehat{\mathbf{q}}$  et  $\delta \mu$  sont interpolées identiquement. Un même ordre d'interpolation est utilisé pour toutes les variables, soit

$$\mathbf{x}^{(e)}(\xi) = \sum_{i=1}^{n+2} N_i(\xi) \mathbf{x}^i, \quad [8]$$

où les fonctions d'interpolations  $N_i$ ,  $i \in \{1, \dots, n + 2\}$  sont des polynômes de Lagrange. En introduisant le vecteur des inconnues nodales de l'élément  $(e)$   $\mathbf{u}^{(e)} = [\mathbf{x}^1 \ \mathbf{x}^2 \ \dots \ \mathbf{x}^{n+2}]^T$ , l'interpolation (8) peut se réécrire sous la forme matricielle  $\mathbf{x}^{(e)}(\xi) = \mathbf{P}(\xi) \mathbf{u}^{(e)}$ , avec  $\mathbf{P}$  la matrice d'interpolation du champ inconnu. Identiquement, on peut introduire une 2<sup>e</sup> matrice d'interpolation  $\mathbf{Q}$  reliant les fonctions tests à leurs valeurs nodales, soit  $[\delta \mathbf{x}_0 \ \delta \widehat{\mathbf{q}} \ \delta \mu]^T = \mathbf{Q}(\xi) \delta \mathbf{u}^{(e)}$ .

Avec ces choix d'interpolation, on peut réécrire le travail élémentaire des efforts in-

térieurs  $\delta\mathcal{W}_i^{(e)}$  (auquel est accolé la contrainte d'unité  $\delta\mathcal{C}_\mu^{(e)}$ ) en faisant apparaître le vecteur des efforts intérieurs élémentaires  $\mathbf{F}_i^{(e)}$  :

$$\begin{aligned}\delta\mathcal{W}_i^{(e)} + \delta\mathcal{C}_\mu^{(e)} &= - \int_0^{L_e} \left( \widehat{\mathbf{N}} \cdot \delta\widehat{\boldsymbol{\Gamma}} + \widehat{\mathbf{M}} \cdot \delta\widehat{\mathbf{K}} + (\widehat{\mathbf{q}} \cdot \widehat{\mathbf{q}} - 1)\delta\mu + 2\mu\widehat{\mathbf{q}} \cdot \delta\widehat{\mathbf{q}} \right) ds, \\ &= \delta\mathbf{u}^{(e)} \cdot \left( - \int_0^{L_e} \mathbf{Q}^T \mathbf{f}_i^{(e)} ds \right), \\ &= \delta\mathbf{u}^{(e)} \cdot \left( - \mathbf{F}_i^{(e)} \right),\end{aligned}\tag{9}$$

avec

$$\mathbf{f}_i^{(e)} = \begin{bmatrix} \left[ \widehat{\mathbf{q}} \circ \widehat{\mathbf{N}} \circ \widehat{\mathbf{q}}^* \right]_{\mathbb{R}^3} \\ 2\widehat{\mathbf{q}} \circ \widehat{\mathbf{M}} \\ 2\widehat{\mathbf{q}} \circ \left( \widehat{\mathbf{N}} \times (\widehat{\boldsymbol{\Gamma}} + \widehat{\boldsymbol{\Gamma}}_0) + \widehat{\mathbf{M}} \times (\widehat{\mathbf{K}} + \widehat{\mathbf{K}}_0) \right) + 2\widehat{\mathbf{q}}' \circ \widehat{\mathbf{M}} + 2\mu\widehat{\mathbf{q}} \\ \widehat{\mathbf{q}} \cdot \widehat{\mathbf{q}} - 1 \end{bmatrix}.\tag{10}$$

Identiquement, le travail élémentaire des efforts extérieurs  $\delta\mathcal{W}_e^{(e)}$  est réécrit en fonction du travail des efforts extérieurs élémentaires  $\mathbf{F}_e^{(e)}$

$$\delta\mathcal{W}_e^{(e)} = \delta\mathbf{u}^{(e)} \cdot \left( \int_0^{L_e} \mathbf{P}^T \mathbf{f}_e^{(e)} ds + \mathbf{P}^T(0)\mathbf{F}_0 + \mathbf{P}^T(L)\mathbf{F}_L \right) = \delta\mathbf{u}^{(e)} \cdot \mathbf{F}_e^{(e)},\tag{11}$$

où  $\mathbf{f}_e = [\mathbf{n} \quad 2\widehat{\mathbf{q}} \circ \widehat{\mathbf{m}} \quad 0]^T$  et  $\mathbf{F}_{0,L} = [\mathbf{N}_{0,L} \quad 2\widehat{\mathbf{q}}_{0,L} \circ \widehat{\mathbf{M}}_{0,L} \quad 0]^T$ . En ajoutant un paramètre de contrôle  $\lambda$ , la somme des travaux élémentaires vaut alors

$$\delta\mathcal{W}_i^{(e)} + \delta\mathcal{W}_e^{(e)} + \delta\mathcal{C}_\mu^{(e)} = \delta\mathbf{u}^{(e)} \cdot \left( \lambda\mathbf{F}_e^{(e)} - \mathbf{F}_i^{(e)} \right).\tag{12}$$

Les intégrales dans les équations (9) et (11) sont évaluées numériquement par la formule de quadrature de Gauss-Legendre. Pour éviter le blocage en cisaillement, une intégration réduite est utilisée soit  $N_g = n + 1$  points de Gauss.

Notons  $\mathbf{U} = [\mathbf{x}^1 \quad \mathbf{x}^2 \quad \dots \quad \mathbf{x}^{N_n}]^T$ , avec  $N_n = (n + 1)N_e + 1$  le nombre total de noeuds. Par une opération d'assemblage des travaux élémentaires (12) d'opérateur  $\mathbf{A}$  et en utilisant le fait que le principe des travaux virtuels est vrai pour toute valeur de  $\delta\mathbf{U}$ , on écrit le problème global

$$\mathbf{R}(\mathbf{U}, \lambda) = \mathbf{A}_{(e)} \left( \mathbf{F}_i^{(e)}(\mathbf{U}) - \lambda\mathbf{F}_e^{(e)}(\mathbf{U}) \right) = \mathbf{0}.\tag{13}$$

### 3.3. Méthode asymptotique numérique

#### 3.3.1. Quadratisation des équations

La méthode asymptotique numérique (MAN) présentée par Damil et Potier-Ferry (Damil et Potier-Ferry, 1990) et Cochelin (Cochelin, 1994), est une méthode de per-

turbation d'ordre élevé qui permet de calculer un grand tronçon de branche d'équilibre avec une seule résolution de système non linéaire. Elle permet une résolution systématique des systèmes d'équations écrits sous forme quadratique, et se révèle ainsi être un solveur très puissant pour une très large classe de problèmes physiques.

En premier lieu, le système (13) est donc transformé en un système quadratique grâce à l'introduction de variables esclaves supplémentaires. Cette opération est grandement facilitée par la forme polynomiale des équations due aux quaternions. Dans chaque élément, on introduit les 17 variables quadratiques élémentaires  $\mathbf{v}_1^{(e)} = \widehat{\mathbf{q}}^* \circ \widehat{\mathbf{x}}'_0 \circ \widehat{\mathbf{q}} - \widehat{\mathbf{u}}_1$ ,  $\mathbf{v}_2^{(e)} = 2\widehat{\mathbf{q}}^* \circ \widehat{\mathbf{q}}' - \widehat{\mathbf{K}}_0$ ,  $\mathbf{v}_3^{(e)} = (\mathbf{C}_N \mathbf{\Gamma}) \times (\mathbf{\Gamma} + \mathbf{\Gamma}_0) + (\mathbf{C}_M \mathbf{K}) \times (\mathbf{K} + \mathbf{K}_0)$ ,  $\widehat{\mathbf{v}}_4^{(e)} = \widehat{\mathbf{q}}^* \circ \widehat{\mathbf{x}}'_0$  et  $\widehat{\mathbf{v}}_5^{(e)} = \widehat{\mathbf{q}} \circ \widehat{\mathbf{N}}$ , qui permettent une reformulation quadratique de (10) et donc du problème. Ces variables n'ont besoin d'être calculées qu'aux points de Gauss. Avec  $\mathbf{v}^{(e)} = [\mathbf{v}_1^{(e)} \ \mathbf{v}_2^{(e)} \ \mathbf{v}_3^{(e)} \ \widehat{\mathbf{v}}_4^{(e)} \ \widehat{\mathbf{v}}_5^{(e)}]^T$  et  ${}^j \mathbf{v}^{(e)}$  la valeur de  $\mathbf{v}^{(e)}$  au point de Gauss  $j \in \{1, \dots, N_g\}$ , on écrit le vecteur global des variables esclaves  $\mathbf{V} = [{}^1 \mathbf{v}^{(1)} \ {}^2 \mathbf{v}^{(1)} \ \dots \ {}^{N_g} \mathbf{v}^{(1)} \ \dots \ {}^1 \mathbf{v}^{(N_e)} \ {}^2 \mathbf{v}^{(N_e)} \ \dots \ {}^{N_g} \mathbf{v}^{(N_e)}]^T$ . On inclut le paramètre de contrôle  $\lambda$  dans le vecteur inconnu de telle manière qu'il ne joue pas de rôle particulier dans le processus de continuation. Ainsi, le nouveau vecteur inconnu global s'écrit  $\mathbf{W} = [\mathbf{U} \ \mathbf{V} \ \lambda]^T$  et le nouveau système d'équation quadratique

$$\mathbf{R}(\mathbf{W}) = \mathbf{C} + \mathbf{L}(\mathbf{W}) + \mathbf{Q}(\mathbf{W}, \mathbf{W}) = \mathbf{0}, \quad [14]$$

$\mathbf{C}$ ,  $\mathbf{L}(\bullet)$  et  $\mathbf{Q}(\bullet, \bullet)$  étant respectivement des opérateurs constant, linéaire et quadratique.

### 3.3.2. Continuation par la MAN

A partir d'un point solution connu  $\mathbf{W}_0$ , le principe de la MAN est de chercher la branche de solution passant par ce point sous la forme d'un développement en série entière d'un paramètre de chemin  $a$ , tronqué à l'ordre  $m$  :

$$\mathbf{W}(a) = \mathbf{W}_0 + a\mathbf{W}_1 + a^2\mathbf{W}_2 + \dots + a^m\mathbf{W}_m = \mathbf{W}_0 + \sum_{p=1}^m a^p \mathbf{W}_p. \quad [15]$$

Pour que la méthode soit robuste, le paramètre de chemin est choisi comme la pseudo longueur d'arc  $a = (\mathbf{W} - \mathbf{W}_0) \cdot \mathbf{W}_1$ . En injectant la série (15) dans le système quadratique (14), et en identifiant les termes devant chaque puissance de  $a$  à 0, on obtient  $m$  systèmes linéaires de même opérateur tangent  $\mathbf{K}_t = \mathbf{L}(\bullet) + 2\mathbf{Q}(\mathbf{W}_0, \bullet)$ . Le système est ensuite fermé en insérant la série (15) dans l'expression du paramètre de chemin. Les  $m$  systèmes, d'inconnues  $\mathbf{W}_p$   $p \in \{1, \dots, m\}$ , sont résolus successivement et mènent à une expression de la solution sous la forme d'une série. Cette solution n'est pas valable sur toute la longueur de la courbe d'équilibre mais uniquement sur le tronçon correspondant au rayon de convergence de la série tronquée. Ce domaine de validité est obtenu en cherchant le rayon  $a_{\max}$  tel qu'un critère de tolérance  $\epsilon$  soit respecté, soit  $\forall a \in [0, a_{\max}] \ \|\mathbf{R}(\mathbf{W}(a))\| < \epsilon$ . Si  $\mathbf{R}^{m+1}$  désigne le coefficient de

la série d'ordre  $m + 1$ , on montre qu'on peut calculer  $a_{\max}$  automatiquement sous la forme

$$a_{\max} = \left( \frac{\epsilon}{\|R^{m+1}\|} \right)^{\frac{1}{m+1}}. \quad [16]$$

Le diagramme d'équilibre complet est calculé en appliquant la méthode itérativement et en utilisant  $W(a_{\max})$  comme nouveau point de départ pour l'itération suivante.

Entre autres avantages, la MAN présente :

- une solution semi-analytique sous forme de série entière par morceaux dont la variable est la pseudo longueur d'arc  $a$ , particulièrement robuste ;
- un calcul totalement numérique ( $\neq$  analytique) de la matrice tangente  $K_t$ , qui de plus n'a pas besoin d'être actualisée à chaque itération comme dans les MPC ;
- aucun paramètre à régler puisque le domaine de validité (16) est calculé automatiquement.

### 3.4. Exemples numériques

La méthode décrite dans cet article a été implémentée dans Matlab. La résolution du système (13) par la MAN est effectuée grâce au package ManLab disponible en ligne gratuitement. De nombreux exemples classiques de la littérature, de solution analytique connue, ont été testés afin de valider le code de calcul. On illustre ici la méthode sur un exemple complexe démontrant la robustesse de la méthode.

Sur la figure 3, on simule le flambement d'une poutre encastree-encastree. Deux perturbations sont ajoutées au système afin d'obtenir un comportement réaliste : une perturbation dans la direction  $x_2$  au centre de la poutre afin de favoriser le flambement dans cette direction et une perturbation dans la direction  $x_3$  à l'extrémité droite de la poutre pour illustrer le caractère 3D de la déformation. La courbe d'équilibre du flambement 2D est superposée à celle de la simulation et montre que le comportement est parfaitement identique au début du post-flambement. On observe ensuite une bifurcation après laquelle une déformation en torsion se produit. On prouve ici la robustesse remarquable de l'algorithme qui permet de passer un point de rebroussement numériquement difficilement appréhendable.

## 4. Conclusion et perspectives

Dans cet article, a été présentée une nouvelle méthode de simulation de câbles se basant sur une combinaison originale de la MEF, des quaternions et de la MAN. La robustesse de la méthode est remarquable même pour des exemples exigeant tels que ceux de la section 3.4. Elle s'avère parfaitement adaptée à l'industrie grâce à son caractère totalement automatique, son extrême robustesse comparée aux méthodes classiques et ses performances de calcul.

Les prochains développements consisteront à tester la méthode sur une grande variété de câbles. La détermination des paramètres matériaux à injecter dans le modèle se

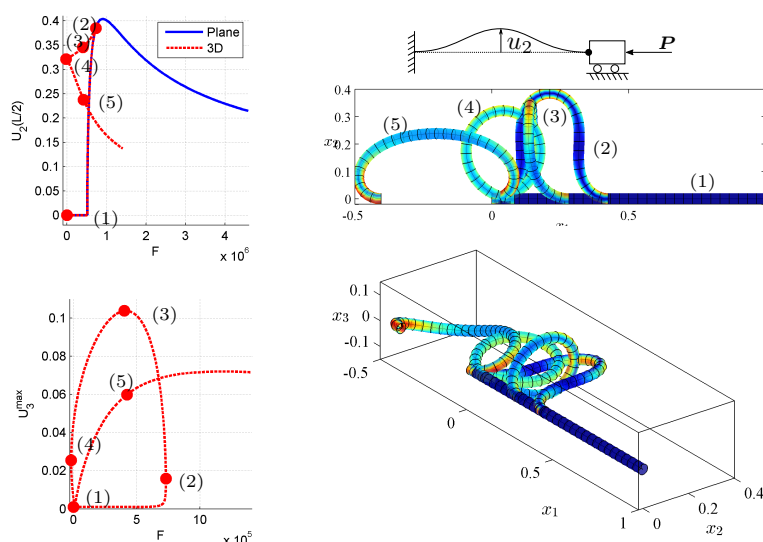


Figure 3 : Etude du post-flambement d'une poutre encastree-encastree : courbes d'equilibre et deformees correspondantes.

revele notamment etre un grand defi, notamment pour des structures de type torons. Enfin, l'ajout de l'etude de la stabilite au code de calcul sera une etape obligatoire en vue de mieux predire les phenomenes reels.

## 5. Bibliographie

- Cochelin B., « A path-following technique via an asymptotic-numerical method », *Computers & structures*, vol. 53, n° 5, p. 1181-1192, 1994.
- Damil N., Potier-Ferry M., « A new method to compute perturbed bifurcations : application to the buckling of imperfect elastic structures », *International Journal of Engineering Science*, vol. 28, n° 9, p. 943-957, 1990.
- Geraadin M., Cardona A., *Flexible multibody dynamics : a finite element approach*, Wiley, 2001.
- Reissner E., « On finite deformations of space-curved beams », *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik ZAMP*, vol. 32, n° 6, p. 734-744, 1981.
- Simo J. C., Vu-Quoc L., « A three-dimensional finite-strain rod model. Part II : Computational aspects », *Computer methods in applied mechanics and engineering*, vol. 58, n° 1, p. 79-116, 1986.
- Zupan E., Saje M., Zupan D., « On a virtual work consistent three-dimensional Reissner-Simo beam formulation using the quaternion algebra », *Acta Mechanica*, vol. 224, n° 8, p. 1709-1729, 2013.



---

## Gestion de robots collaboratifs et mobiles en milieu contraint

**David Busson**

\* 8 boulevard Louis XIV

---

*RÉSUMÉ. Ce rapport est consacré à la gestion de robots mobiles et collaboratifs évoluant dans un environnement de production d'avion, dans le but de réaliser des tâches d'assemblage, de perçage, ou de mesure. Ces déplacements et procédés doivent être réalisés en maintenant un niveau de sécurité, et un degré de robustesse, permettant de travailler en la présence d'humains. La principale problématique traitée dans cette thèse est l'exploitation éclairée de la redondance cinématique de ces systèmes afin de compenser certains défauts observés pendant leur utilisation. La faible précision, rigidité, et capacité d'application d'effort de ces systèmes sont des obstacles qu'il faut franchir avant de commencer à développer des technologies agissant à plus haut niveau, sachant que la sécurité est assurée en partie par la conception des systèmes eux-mêmes.*

*ABSTRACT. This report relates to the management of collaborative and mobile robots, working in an aircraft production environment, performing assembly, drilling and measurement tasks. Motions and processes have to match safety and industrial robustness standards, allowing the vicinity of human workers. The main contribution of this work is the enlightened use of these systems kinematic redundancy, which helps counter weaknesses linked to their design. Low precision, rigidity and force application capacity performances are as many obstacles that have to be circumvented before developing higher level behaviours, having in mind that most safety-related features are already included in their design.*

*MOTS-CLÉS : robots mobiles et collaboratifs, redondance cinématique, rigidité cartésienne et capacité d'application d'effort.*

*KEYWORDS: mobile collaborative systems, kinematic redundancy, cartesian stiffness and force capacity.*

---



## 1. Introduction

On s'intéresse dans cette thèse au problème de la gestion d'une flottille de robots mobiles capables d'évoluer en toute sécurité à proximité d'humains (que l'on qualifie de *collaboratifs*) pour la réalisation de tâches de production d'un avion en construction. L'environnement de ces robots est l'intérieure de la carlingue d'un avion en production dans laquelle circulent et travaillent des humains.

Les systèmes utilisées pour ce sujet de recherche sont des robots industriels collaboratifs produits par le constructeur KUKA : le Kuka Mobile Robot couplé avec le Kuka LBR iiwa. Les procédés d'assemblage, de perçage et de mesure sont réalisés par des effecteurs spécifiques adaptés à ces robots. Il n'est pas question dans cette thèse de concevoir des systèmes de production mais davantage de concevoir des outils algorithmiques leur permettant de travailler en autonomie dans cet environnement dynamique et encombré. L'implantation industrielle dans le milieu aéronautique d'une telle solution est envisagée et implique un degré de robustesse important ainsi qu'une précision extrêmement fine dans les tâches réalisées.

Les principaux jalons identifiés attenants à ce problème sont :

1) la conception de l'intelligence multi-robots pour décomposer et répartir les tâches parmi les agents robotiques. Cette intelligence doit être capable de s'adapter dynamiquement à des changements d'objectifs ou des changements d'effectif dans la flottille,

2) la conception ou l'adaptation d'algorithmes permettant aux systèmes de planifier et d'exécuter des déplacements vers des destinations dans cet environnement encombré et variable, en maintenant un niveau de sécurité suffisant pour le milieu l'industriel,

3) la conception d'algorithmes permettant de choisir ces destinations, c'est-à-dire les positions optimales permettant aux systèmes de réaliser les tâches qui leurs sont assignées dans des conditions industrielles.

Ces différents blocs technologiques peuvent être développés séparément, et cette modularité est précieuse car elle permet de recycler des solutions existantes, et assure la généricité de la solution. Néanmoins, l'approche utilisée pendant ce travail de recherche a été de travailler en priorité sur les blocs technologiques de plus bas niveau, qui sont garants de l'utilité des blocs technologiques niveau supérieur. Ainsi, la conception de l'intelligence responsable de la décomposition et de la répartition des tâches vient après l'assurance d'avoir des systèmes capables de se déplacer en toute sécurité dans l'environnement de production, qui nécessite d'avoir la capacité de choisir des destinations. Le rapport se concentrera sur les principales contributions de mon travail de doctorant qui sont liées au choix des destinations (géométrie et cinématique inverse, gestion de redondance, optimisation de critères de performance).

## 2. Présentation du problème

Le choix des destinations peut paraître anodin au premier abord, mais les systèmes utilisés comportent une cinématique complexe, et une imprécision de positionnement qui imposent des calculs et une architecture adaptés.

Le système est composé d'une base mobile à 3 degrés de liberté  $(x_b, y_b, \theta_b)$  dans le plan du sol et d'un bras manipulateur possédant 7 degrés de liberté  $(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7)$ , un à chaque articulation. Le positionnement et l'orientation d'un effecteur dans l'espace nécessite un minimum de 6 degrés de liberté. Chaque degré de liberté supplémentaire ajoute une dimension à l'espace (borné) des configurations articulaires permettant à l'effecteur d'avoir le bon positionnement et la bonne orientation. Notre système possède au total 10 degrés de liberté : il est donc cinématiquement hyper-redondant. Cette redondance cinématique implique l'existence d'une infinité de solutions pour le choix d'une configuration articulaire  $(x_b, y_b, \theta_b, q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7)$ .

Par ailleurs, les exigences de qualité présentes dans le milieu de production aéronautique sont une contraintes auxquelles notre solution ne saurait se soustraire. Un ordre de grandeur de précision requise dans les opérations d'assemblage et de perçage dans l'aéronautique est d'environ 0.5 millimètre. Or, l'imprécision en positionnement de l'effecteur par le bras robotique seul est de l'ordre du millimètre, alors que celle de la plate-forme mobile dans le plan du sol est de l'ordre du centimètre. Ces imprécisions entraînent en pratique le recourt à un recalage local, proche des lieux d'opérations, après chaque déplacement de la plateforme mobile. Le recalage locale est une pratique largement utilisée dans le monde de l'industrie robotisée et qui consiste à mesurer l'erreur de positionnement et d'orientation d'un système lorsque celui-ci est proche de son lieu d'opération pour compenser les défauts géométriques liés à un mauvais positionnement de la base de ce système, à une mauvaise calibration de la chaîne cinématique du système, ou encore à des déformations mécaniques liées au poids propre de la structure ou à une interaction physique avec l'environnement. La mesure est souvent effectuée par un système, embarqué (de type caméra par exemple) sur le bras manipulateur, qui évalue la position relative d'un élément présent dans l'environnement proche du lieu d'opération. Il a été décidé, en raison du coût temporel de ces recalages locaux, d'en limiter au maximum le nombre. Cette décision a un impact sur la manière dont seront gérés les déplacements du système base mobile - bras manipulateur puisque l'on veut limiter au maximum le nombre de déplacements de la base mobile. Il est donc prévu de décomposer l'ensemble des opérations allouées aux systèmes en regroupements géographiques d'opérations capables d'être traitées pour un positionnement de la base mobile donné.

## 3. Cinématique inverse d'un mécanisme redondant

La redondance cinématique complexifie grandement la résolution du problème; cependant, comme les performance du systèmes sont fortement influencées par la

configuration articulaire utilisée, la définition d'un certain nombre de critères de performance pourrait permettre de guider la résolution du problème en explorant leur valeur au sein de l'espace des solutions. En optimisant, ou en s'assurant d'une valeur minimale de ces critères de performance, on facilite le choix d'une configuration parmi l'espace de solution tout en s'assurant d'être dans les meilleures dispositions possibles pour l'accomplissement des tâches.

Les principaux défauts de l'iiwa, constatés lors du développement d'applications industrielles lors de ma première année de thèse comportent :

- Une faible rigidité mécanique qui engendre des déformations importantes lors d'interactions physiques avec l'environnement,
- Une faible capacité d'application d'effort,
- Une précision assez limitée (en partie liée à la faible rigidité déjà mentionnée)

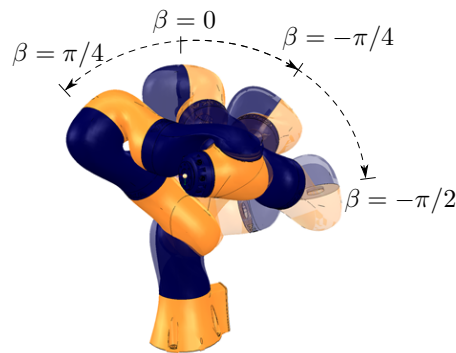
Le système est cinématiquement redondant et la littérature abonde de méthodes permettant d'effectuer cette gestion de redondance (Siciliano et Khatib, 2016) (Sciavicco et Siciliano, 1988) (Buss, 2004) (Nakamura et Hanafusa, 1986) (Chiaverini *et al.*, 1992) (Baillieul, 1986) (Maciejewski et Klein, 1985) (Doty *et al.*, 1993). Les méthodes les plus connues sont basées sur des approches itératives exploitant la matrice Jacobienne associée à une fonction de la cinématique directe qui mappe les configurations articulaires à la position et l'orientation cartésienne d'un frame fixé au repère lié à l'effecteur du manipulateur selon la relation :

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{J}(\mathbf{q}) \cdot \dot{\mathbf{q}}, \quad [1]$$

Cette matrice Jacobienne est souvent dénommée parmi les roboticiens "Jacobien géométrique" ou "Jacobien Analytique" selon la fonction de cinématique directe utilisée ou plus généralement Jacobien cinématique. Ces méthodes déterminent itérativement la direction de déplacement articulaire dans laquelle se diriger pour effectuer la variation de position et d'orientation cartésienne qui amènera l'effecteur à la destination souhaitée. Les méthodes les plus connues sont la méthode d'inversion, ou de pseudo-inversion du Jacobien, dont dérive la méthode d'optimisation basée sur la projection du gradient d'un critère de performance sur le noyau du Jacobien. Ces méthodes sont sensibles aux singularités cinématiques sauf dans les cas où des mesures de dextérités sont utilisées comme critères de performance mais ont l'intérêt de permettre une exploitation approfondie de la redondance cinématique. La méthode du gradient offre une solution peu coûteuse si ce n'est qu'elle converge plus lentement et ne permet pas aussi simplement l'utilisation du noyau du Jacobien. Les méthodes de régularisation (aussi appelées amorties aux moindre carré), permettent d'éviter les singularités cinématiques. Enfin, la méthode du Jacobien augmenté et la méthode du Jacobien étendu permettent de prendre en compte des contraintes supplémentaires qui sont concaténées directement dans le Jacobien. Ces méthodes itératives sont extrêmement intéressantes par leur généralités. Elles sont applicables pour tous les types de robots, et c'est ce qui fait leur force.

La structure cinématique particulière du bras manipulateur utilisé (LBR iiwa) permet cependant une résolution analytique de la redondance cinématique. Les approches analytiques sont souvent beaucoup plus rapides que les approches numériques, et c'est pour cette raison que l'on a choisi de se concentrer sur ce type de résolution. L'état de l'art de ces méthodes (Tolani *et al.*, 2000) (Moradi et Lee, 2005) (Shimizu *et al.*, 2008) (Singh et Claassens, 2010) (Wang, 2013) (Zhou *et al.*, 2015) (Pfurner, 2016) a permis de construire un algorithme de géométrie inverse pour ce robot anthropomorphe redondant.

Pour synthétiser, l'iiwa est un mécanisme sériel anthropomorphe possédant 7 articulations. On peut regrouper les 3 premières articulations et les 3 dernières articulations en deux ensembles cinématiques équivalents à des liaisons sphériques que l'on nomme respectivement épaule et poignet. Entre ces deux liaisons, on trouve le coude, qui correspond en fait à la quatrième articulation de l'iiwa. On peut remarquer qu'il existe un espace continu de configurations, faisant se déplacer le coude sur un cercle, qui caractérise le mouvement interne de ce type de robot. Comme le montre la figure 3,  $\beta$  correspond à la coordonnée angulaire d'une représentation cylindrique du positionnement du coude dans un repère placé à l'épaule, et dont l'axe vertical est dirigé par l'axe épaule-poignet.



**Figure 1.** *Mouvement interne du LBR iiwa 14 R820.*

La tâche de positionnement d'un TCP associé au segment terminal du robot est de dimension 6 (trois dimensions pour la position, et trois dimensions pour l'orientation). Comme l'iiwa a 7 degrés de liberté, il est possible de fixer la valeur du paramètre de redondance en plus de fixer la pose que le TCP doit occuper pour qu'une solution pour sa configuration articulaire soit calculable analytiquement. Autrement dit, on peut calculer analytiquement la configuration de l'iiwa en lui fournissant un couple  $(\vec{p}, \beta)$ , où  $\vec{p}$  est la pose de destination, et  $\beta$  est la valeur du paramètre de redondance. La suite du travail se concentre sur la manière de trouver des valeurs de  $\beta$  qui soient pertinentes pour les opérations que réalise l'iiwa dans la production aéronautique.

La caractérisation du mouvement interne et de la cinématique de l'iiwa est très importante, car elle nous permet de trouver rapidement des solutions au problème de la gestion de redondance. Cependant, cette gestion de redondance doit être guidée par des critères de performance pour être vraiment utile. Cela signifie que l'on souhaite explorer l'ensemble des solutions de géométrie inverse autorisé par la redondance afin d'optimiser certains critères. L'iiwa est un robot collaboratif et cela n'est pas sans désavantage car il en résulte une certaine flexibilité dans ses articulations et une puissance limitée qui limite sa capacité d'application d'effort cartésien. Les critères développés dans les parties suivantes sont la rigidité cartésienne du manipulateur et la capacité d'application d'effort de ce manipulateur redondant. Ces critères sont évalués en fonction de la position dans l'espace de redondance de l'iiwa, c'est-à-dire en fonction de  $\beta$ .

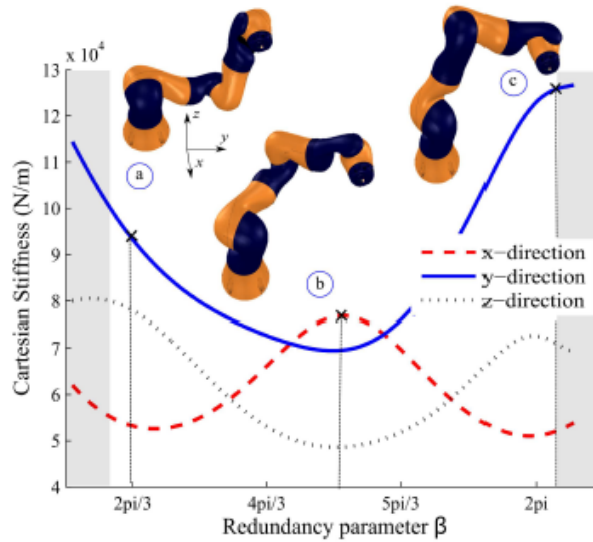
#### 4. Rigidité cartésienne

Une étude sur la rigidité cartésienne de l'iiwa a mené à la définition d'un critère de performance qui permet d'évaluer, en fonction de la configuration articulaire du robot, une rigidité cartésienne du bras dans les 3 directions cartésiennes principales. Celle-ci a pu être calculée après avoir évalué les rigidités articulaires de chaque axe du robot. Cette étude a fait suite au constat de l'extrême flexibilité mécanique de l'iiwa, qui entraînait des vibrations visibles à l'oeil nu. La bibliographie utilisée pour traiter de ce sujet est : (Ajoudani *et al.*, 2014) (Ajoudani *et al.*, 2012) (Yoshikawa, 1985b) (Klein et Blaho, 1987).

Pour une pose donnée, l'algorithme calcule la valeur de la rigidité cartésienne dans une direction cartésienne pour un échantillonnage représentatif du mouvement interne du robot. Cela permet de choisir une configuration, parmi les possibilités offertes par la redondance, qui maximise la rigidité cartésienne du bras dans une direction donnée. On peut trouver un intérêt à maximiser une composante de rigidité cartésienne dans des applications où le manipulateur est en interaction physique avec son environnement, ce qui provoque des déformations dans sa structure. On peut vouloir, pour conserver un positionnement précis de l'effecteur, minimiser ces déformations mécaniques. Par exemple, pendant un perçage, on ne veut pas que les efforts normaux à la direction de l'avance provoquent des déplacements qui détériorent la qualité du trou.

L'étude a montré une dépendance forte entre la configuration articulaire et la rigidité cartésienne du robot, ce qui démontre son intérêt en tant que critère servant à la résolution de redondance.

L'article qui décrit ce travail a été soumis et accepté par la *International Federation of Automatic Control (IFAC 2017)*, qui aura lieu à Toulouse en juillet 2017.



**Figure 2.** Rigidité cartésienne théorique de l’iwa selon les composantes  $\vec{u}_x$ ,  $\vec{u}_y$  et  $\vec{u}_z$  en fonction du paramètre de redondance  $\beta$  pour la pose  $\vec{p} = [-.2, .5, .6, 0, -\pi/2, \pi]^T$  (convention d’Euler ZYX).

## 5. Capacité d’Application d’Effort

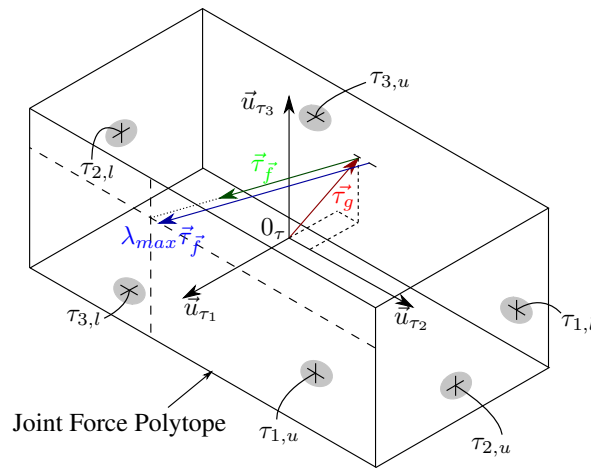
Une autre limite de l’iwa est sa faible capacité d’application d’effort. Les objectifs scientifiques qui ont émergé de ce constat sont d’une part de permettre une évaluation rapide de la capacité d’application d’un effort donné pour une configuration donnée et d’autre part de développer un outil permettant de choisir parmi l’infinité de configurations fournies par la redondance cinématique, des configurations qui permettraient d’appliquer au moins cet effort. Un état de l’art (Yoshikawa, 1985b) (Yoshikawa, 1985a) (Klein et Blaho, 1987) (Chiacchio *et al.*, 1992) (Chiacchio et Concilio, 1998) (Lebret *et al.*, 1993) (Chiacchio *et al.*, 1991) (Lee, 1997) (Chiacchio, 2000) (Chiacchio *et al.*, 1997) (Bowling et Khatib, 2005) (Chiacchio *et al.*, 1996) sur le sujet de l’évaluation de la capacité d’application d’efforts cartésiens par des manipulateurs robotique a montré qu’il existait des outils tels que l’ellipsoïde de force (fortement lié à la mesure de manipulabilité) et le polytope de force qui servent à représenter, pour une configuration donnée les capacités d’efforts cartésien dans toutes les directions possibles. Ces outils, cependant, ne sont pas adaptés à l’évaluation de la capacité du manipulateur pour un effort cartésien donné. Ils souffrent de problèmes liés à la représentation des efforts cartésiens (6 dimensions à représenter), sont très généraux (et non spécifique à un effort donné) et nécessitent des calculs coûteux (inversion du jacobien géométrique, ou pseudo-inversion dans le cas redondant).

Pendant une opération statique ou quasi-statique, le couple de chaque articulation sert d'une part à soutenir le poids des segments et de l'effecteur qu'elle supporte, et d'autre part à engendrer un effort dans une direction donnée au niveau d'un TCP lié au dernier segment du robot. L'évaluation de la capacité d'effort de l'iiwa passe donc par ces deux étapes. Le principe est donc de calculer les couples gravitationnels dans un premier temps, et de calculer l'intensité maximale de l'effort qui ne fait saturer aucune articulation en termes de couple dans un second temps.

Après avoir déterminé le couple gravitationnels utilisant les données massiques de chacun des segments du manipulateur, un algorithme de calcul des couples nécessaires pour appliquer un effort cartésien a été développé. Cet algorithme se base sur la relation kinéostatique liant  $\vec{f}$ , l'effort cartésien à  $\vec{\tau}_f$ , l'effort articulaire :

$$J^T \vec{f} = \vec{\tau}_f$$

Le principe pour évaluer la capacité d'application d'un effort  $\vec{f}$  est de déterminer quelle intensité maximale d'effort  $\lambda_{max} \vec{f}$  le manipulateur va être capable d'appliquer sans qu'aucune de ses articulations ne saturent en termes de couple. la figure 3 met en évidence le calcul effectué par l'algorithme. L'effort articulaire maximal applicable correspond au vecteur  $\lambda_{max} \vec{\tau}_f$  et on comprend que sa norme dépende de l'effort articulaire gravitationnel  $\vec{\tau}_g$ .



**Figure 3.** Principe d'évaluation de la capacité d'effort pour un robot à 3 degrés de liberté

Un article sur ce sujet est soumis à l'*International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2017)* et est en attente d'acceptation.

## 6. Perspectives

Un certain nombre de critères ont été conçus pour aider le calcul de la gestion de redondance du bras manipulateur et évaluer ses performances. L'objectif est maintenant de déterminer un placement de la plate-forme mobile garantissant :

- l'absence de collision avec l'environnement,
- l'atteignabilité du bras manipulateur pour chaque opération
- le respect d'une performance minimale des critères pour un ensemble d'opérations.

La première partie de la thèse s'est basée sur la paramétrisation de l'espace de redondance du bras manipulateur (avec  $\beta$ ) et on peut étendre cette paramétrisation par l'ajout des variables associées au positionnement de la plate-forme mobile  $x_b$ ,  $y_b$  et  $\theta_b$ . Soit  $t^i \in se(3)$  la  $i$ -ème tâche de positionnement (correspondant à l'opération  $i$ ,  $i \in \llbracket 1, m \rrbracket$ ). En fixant la position dans l'espace de redondance  $r^i = (x_b, y_b, \theta_b, \beta^i)$ <sup>1</sup>, cette paramétrisation permet de déterminer analytiquement et de manière unique la configuration  $q^i = [q_1^i \ q_2^i \ q_3^i \ q_4^i \ q_5^i \ q_6^i \ q_7^i \ x_b \ y_b \ \theta_b]$  permettant au robot d'effectuer la tâche  $t^i$ . On note génériquement les  $k$  critères de performance (comme celui évaluant la rigidité cartésienne et celui évaluant la capacité d'application d'effort)  $X_1, X_2, \dots, X_k$ , chacun dépendant de la tâche  $t$  et des paramètres de redondance contenus dans  $r$ . Chaque critère est évalué pour la configuration utilisée pour l'opération  $i$ , et est alors noté  $X_j^i$ , où  $j$  est l'indice correspondant au type du critère, et  $i$  correspond à l'indice de l'opération effectuée. Supposons qu'il y ait un critère  $X_1$  (et une seul) que l'on souhaite minimiser (par exemple la souplesse cartésienne), on peut formuler le problème sous la forme d'un problème d'optimisation sous contraintes :

---

1.  $x_b, y_b, \theta_b$  sont communs à toutes les opérations, d'où l'absence d'indice  $i$



$$\text{Optimisation :} \quad \arg \min_{\{x_b, y_b, \theta_b, \beta^1, \beta^2, \dots, \beta^m\}} \max_{i \in \llbracket 1, m \rrbracket} (X_1^i(\mathbf{t}^i, \mathbf{r}^i)) \quad [2]$$

$$\text{Sujet à : } \forall i \in \llbracket 1, m \rrbracket$$

$$\mathbf{r}^i = (x_b, y_b, \theta_b, \beta^i) \quad [3]$$

$$\text{atteignable}(x_b, y_b, \theta_b, \mathbf{t}^i) \leq 0 \quad [4]$$

$$\mathbf{q}^i = q(\mathbf{t}^i, \mathbf{r}^i) \quad [5]$$

$$\mathbf{q}_l \leq \mathbf{q}^i \leq \mathbf{q}_u \quad [6]$$

$$\text{distance}(\mathbf{q}^i, \text{obstacles}) \geq d_{min} \quad [7]$$

$$X_2^i(\mathbf{t}^i, \mathbf{r}^i) \leq X_{2, max}$$

$$\vdots \quad [8]$$

$$X_k^i(\mathbf{t}^i, \mathbf{r}^i) \leq X_{k, max}$$

L'équation (2) correspond à la recherche de positions  $\mathbf{r}^i = (x_b, y_b, \theta_b, \beta^i), i \in \llbracket 1, m \rrbracket$  dans l'espace de redondance minimisant la valeur maximale, parmi toutes les opérations à effectuer, du critère de performance  $X_1$ . En effet, on souhaite que la configuration choisie pour la tâche où le robot sera le plus souple soit quand même la plus rigide possible (i.e. la moins souple). L'expression 3 contient la définition de la position dans l'espace de redondance. Comme la position de la base mobile est commune aux  $m$  opérations, on retire l'indice  $i$  de  $x_b, y_b$  et  $\theta_b$ . L'inéquation (4) correspond à une contrainte sur la présence de la tâche  $t_i$  dans l'espace de travail du bras manipulateur. La fonction *atteignable*(...) renvoie une valeur correspondant à la distance minimale à parcourir pour que la tâche soit sur l'enveloppe de l'espace de travail. Si la valeur est négative, cela signifie que la tâche est réalisable. Il est très aisé, au vue de la géométrie anthropomorphe de l'iiwa, d'évaluer cette distance à partir des localisations de la base du robot et de la tâche. Une fois l'atteignabilité validée, l'expression (5) correspond au calcul analytique de la configuration articulaire du système robotique à partir de la tâche  $\mathbf{t}^i$  et de la position choisie dans l'espace de redondance  $\mathbf{r}^i$ . Les inégalités (6) vérifient, pour chaque configuration calculée, que chaque articulation se trouve à l'intérieur des limites articulaires de l'actionneur associé. Enfin, on vérifie l'égibilité de la position de redondance choisie pour la tâche  $i$  en testant que la valeur de chaque critère de performance est en dessous d'une valeur limite dans les inégalités (8).

Ce problème est ici formulé sous la forme d'une optimisation sous contraintes, mais si on ne souhaite pas minimiser de critère de performance, il suffit de résoudre le problème de satisfaction de contraintes (en enlevant l'objectif à minimiser). La mise en place de l'algorithme de résolution de ce problème est le prochain travail de recherche qui sera réalisé pendant le doctorat.

Un certain nombre de travaux a été effectué en rapport avec la planification et l'exécution des mouvements de ces systèmes d'une configuration de départ à une configuration d'arrivée, dans un environnement quelconque, avec un effecteur quelconque. L'utilisation de ROS (?) et de la librairie OMPL (Şucan *et al.*, 2012) de motion planning ont permis une implantation rapide et modulaire de ces fonctionnalités, même s'il reste beaucoup de travail d'adaptation.

Enfin, un travail sur la planification des tâches, c'est-à-dire la répartition haut niveau des opérations à réaliser parmi les agents disponibles, effectuée en dynamique et optimisant le temps de travail total est envisagé pour la suite de la thèse.

## Remerciements

Les remerciements arrivent ici.

## 7. Bibliographie

- Ajoudani A., Gabbicini M., Tsagarakis N., Albu-Schäffer A., Bicchi A., « TeleImpedance : Exploring the role of common-mode and configuration-dependant stiffness », *Humanoid Robots (Humanoids), 2012 12th IEEE-RAS International Conference on*, IEEE, p. 363-369, 2012.
- Ajoudani A., Tsagarakis N. G., Lee J., Gabbicini M., Bicchi A., « Natural redundancy resolution in dual-arm manipulation using configuration dependent stiffness (CDS) control », *Robotics and Automation (ICRA), 2014 IEEE International Conference on*, IEEE, p. 1480-1486, 2014.
- Baillieul J., « Avoiding obstacles and resolving kinematic redundancy », *Robotics and Automation. Proceedings. 1986 IEEE International Conference on*, vol. 3, IEEE, p. 1698-1704, 1986.
- Bowling A., Khatib O., « The dynamic capability equations : a new tool for analyzing robotic manipulator performance », *IEEE transactions on robotics*, vol. 21, n° 1, p. 115-123, 2005.
- Buss S. R., « Introduction to inverse kinematics with jacobian transpose, pseudoinverse and damped least squares methods », *IEEE Journal of Robotics and Automation*, vol. 17, n° 1-19, p. 16, 2004.
- Chiacchio P., Concilio M., « The dynamic manipulability ellipsoid for redundant manipulators », *Robotics and Automation, 1998. Proceedings. 1998 IEEE International Conference on*, vol. 1, IEEE, p. 95-100, 1998.
- Chiacchio P., « A new dynamic manipulability ellipsoid for redundant manipulators », *Robotica*, vol. 18, n° 04, p. 381-387, 2000.
- Chiacchio P., Bouffard-Vercelli Y., Pierrot F., « Evaluation of force capabilities for redundant manipulators », *Robotics and Automation, 1996. Proceedings., 1996 IEEE International Conference on*, vol. 4, IEEE, p. 3520-3525, 1996.
- Chiacchio P., Bouffard-Vercelli Y., Pierrot F., « Force polytope and force ellipsoid for redundant manipulators », *Journal of Field Robotics*, vol. 14, n° 8, p. 613-620, 1997.

- Chiacchio P., Chiaverini S., Sciavicco L., Siciliano B., « Global task space manipulability ellipsoids for multiple-arm systems », *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 7, n° 5, p. 678-685, 1991.
- Chiacchio P., Chiaverini S., Sciavicco L., Siciliano B., « Influence of gravity on the manipulability ellipsoid for robot arms », *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, vol. 114, n° 4, p. 723-727, 1992.
- Chiaverini S., Egeland O., Kanestrom R. K., « Weighted damped least-squares in kinematic control of robotic manipulators », *Advanced robotics*, vol. 7, n° 3, p. 201-218, 1992.
- Doty K. L., Melchiorri C., Bonivento C., « A theory of generalized inverses applied to robotics », *The International Journal of Robotics Research*, vol. 12, n° 1, p. 1-19, 1993.
- Klein C. A., Blaho B. E., « Dexterity measures for the design and control of kinematically redundant manipulators », *The International Journal of Robotics Research*, vol. 6, n° 2, p. 72-83, 1987.
- Lebret G., Liu K., Lewis F. L., « Dynamic analysis and control of a Stewart platform manipulator », *Journal of Field Robotics*, vol. 10, n° 5, p. 629-655, 1993.
- Lee J., « A study on the manipulability measures for robot manipulators », *Intelligent Robots and Systems, 1997. IROS'97., Proceedings of the 1997 IEEE/RSJ International Conference on*, vol. 3, IEEE, p. 1458-1465, 1997.
- Maciejewski A. A., Klein C. A., « Obstacle avoidance for kinematically redundant manipulators in dynamically varying environments », *The international journal of robotics research*, vol. 4, n° 3, p. 109-117, 1985.
- Moradi H., Lee S., « Joint limit analysis and elbow movement minimization for redundant manipulators using closed form method », *Advances in Intelligent Computing*, p. 423-432, 2005.
- Nakamura Y., Hanafusa H., « Inverse kinematic solutions with singularity robustness for robot manipulator control », *Journal of dynamic systems, measurement, and control*, vol. 108, n° 3, p. 163-171, 1986.
- Pfurner M., « Closed form inverse kinematics solution for a redundant anthropomorphic robot arm », *Computer Aided Geometric Design*, vol. 47, p. 163 - 171, 2016. SI : New Developments Geometry.
- Sciavicco L., Siciliano B., « A solution algorithm to the inverse kinematic problem for redundant manipulators », *IEEE Journal on Robotics and Automation*, vol. 4, n° 4, p. 403-410, 1988.
- Shimizu M., Kakuya H., Yoon W.-K., Kitagaki K., Kosuge K., « Analytical inverse kinematic computation for 7-DOF redundant manipulators with joint limits and its application to redundancy resolution », *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 24, n° 5, p. 1131-1142, 2008.
- Siciliano B., Khatib O., *Springer handbook of robotics*, Springer, 2016.
- Singh G. K., Claassens J., « An analytical solution for the inverse kinematics of a redundant 7DoF Manipulator with link offsets », *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2010 IEEE/RSJ International Conference on*, IEEE, p. 2976-2982, 2010.
- Şucan I. A., Moll M., Kavraki L. E., « The Open Motion Planning Library », *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 19, n° 4, p. 72-82, December, 2012. <http://ompl.kavrakilab.org>.
- Tolani D., Goswami A., Badler N. I., « Real-time inverse kinematics techniques for anthropomorphic limbs », *Graphical models*, vol. 62, n° 5, p. 353-388, 2000.
- Wang Y., Closed-form inverse kinematic solution for anthropomorphic motion in redundant robot arms, PhD thesis, Arizona State University, 2013.

- Yoshikawa T., « Dynamic manipulability of robot manipulators », *Robotics and Automation. Proceedings. 1985 IEEE International Conference on*, vol. 2, IEEE, p. 1033-1038, 1985a.
- Yoshikawa T., « Manipulability of robotic mechanisms », *The international journal of Robotics Research*, vol. 4, n° 2, p. 3-9, 1985b.
- Zhou D., Ji L., Zhang Q., Wei X., « Practical analytical inverse kinematic approach for 7-DOF space manipulators with joint and attitude limits », *Intelligent Service Robotics*, vol. 8, n° 4, p. 215-224, 2015.



## Calcul d'amortisseurs vibratoires non linéaires pour groupe moto-propulseur automobile

**Alexandre Renault**<sup>\* \*\*</sup>

*\* Arts et Métiers ParisTech, LSIS UMR CNRS 7296, 8 bd. Louis XIV 59046 Lille, France*

*\*\* Valeo Transmissions, Centre d'Étude des Produits Nouveaux Espace Industriel Nord, Route de Poulainville, 80009 Amiens Cedex 1, France*

---

*RÉSUMÉ. Cette étude porte sur des absorbeurs non linéaires de vibrations de torsion utilisés pour atténuer les irrégularités de rotation de systèmes tournants. Ils sont accordés sur un ordre de la vitesse de rotation du système vibrant. Cependant, leurs fortes non-linéarités intrinsèques engendrent un désaccord de l'absorbeur pour de grandes amplitudes d'oscillation. L'objectif principal de ce travail de thèse est d'étudier des dispositifs de réduction de vibration utilisant des pendules et de fournir un outil de simulation performant pour le calcul de leur dynamique et leur dimensionnement*

*ABSTRACT. We address non linear torsional vibration absorbers, used in rotating machinery to counteract irregularities of rotation. They are tuned on an order of the mean engine speed of rotation. However, they exhibit strong non-linearities of various natures which causes the detuning of the absorber at large amplitude of motion. The main aim of this work is to study those vibration absorbers involving pendulums and provide efficient computational tools.*

*MOTS-CLÉS : Absorbeur pendulaire centrifuge, Méthode asymptotique numérique, Continuation d'antirésonance.*

*KEYWORDS: Centrifugal pendular vibration absorber, Asymptotic numerical method, Antiresonance continuation.*

---

## 1. Sujet de thèse

Dans le cadre de la réduction des émissions polluantes et de la consommation des véhicules à moteur thermique, les constructeurs cherchent à diminuer la cylindrée et la vitesse de rotation des moteurs. Ces évolutions conduisent, du fait du principe même du moteur à pistons, à une augmentation significative des irrégularités de rotation de celui-ci. Ces irrégularités, communément appelées acyclismes, sont à l'origine de vibrations et de bruit dans un véhicule. Simultanément à ces évolutions, les exigences de l'automobiliste vont grandissantes. En effet, celui-ci veut pouvoir parcourir le plus grand nombre de kilomètres possibles sans soucis de panne dans un véhicule le plus silencieux possible. Au final, les exigences de consommation et d'émissions polluantes conduisent à une augmentation des acyclismes qui eux-mêmes engendrent des préoccupations de nuisances sonores et de fiabilité que le client final n'accepte pas. Une des principales caractéristiques des moteurs à combustion interne est la dépendance linéaire de la fréquence des acyclismes à la vitesse de rotation du moteur. La constante de proportionnalité est appelée "ordre moteur". En phase d'accélération, le moteur balaye donc une large plage de fréquences contenant certains modes de la chaîne de cinématique. Cette situation peut mener, entre autres, à une sollicitation importante des organes de transmission et donc à une usure prématurée de ces derniers.

Ce sujet de thèse vise à étudier, dimensionner et optimiser des dispositifs d'absorption des vibrations de torsion, notamment en utilisant des absorbeurs pendulaires accordés. Les absorbeurs pendulaires ont été inventés dans les années 1930 pour réduire les vibrations résonantes des moteurs d'avion<sup>1</sup> (Carter, 1929), (Sarazin, 1930). Ils étaient alors montés directement sur le vilebrequin. Ces systèmes passifs sont particulièrement intéressants car ils ont la capacité de s'adapter à la vitesse de rotation du moteur. En effet, la fréquence d'oscillation libre d'une masse pendulaire ainsi centrifugée est proportionnelle à la vitesse de rotation du système. La constante de proportionnalité est appelée "ordre d'accord". Ils fonctionnent sur le même principe qu'un amortisseur à masse accordée à raideur variable et sont donc accordés sur l'ordre moteur. En pratique, l'absorbeur consiste en une (ou plusieurs) masse pendulaire dont le centre de gravité oscille librement par rapport à un voile support, le long d'une trajectoire spécifique. L'utilisation quasi systématique d'absorbeurs pendulaires dans une chaîne cinématique automobile est récente et le présent sujet de thèse vise à améliorer et optimiser leur fonctionnement, dans plusieurs directions innovantes.

L'expérience des dispositifs existants et la littérature montrent que l'implantation d'un pendule accordé à l'ordre d'allumage des cylindres permet une réduction très significative des acyclismes à cet ordre. Cela est garanti par le choix d'une trajectoire bien précise pour les oscillations de la masse pendulaire (le plus souvent circulaire ou épicycloïdale). Cependant, l'absorbeur pendulaire est sujet à de fortes non-linéarités géométriques, intrinsèques aux systèmes articulés, et également à de fortes interactions non linéaires inertielles entre la masse oscillante et son voile support. Ces effets

---

1. En particulier dans le moteur R-2800 de Pratt & Withney, monté sur les chasseurs américains F4U Corsair de la 2e guerre mondiale.

combinés engendrent un désaccord de l'absorbeur à mesure que l'amplitude des oscillations augmente. Le point de fonctionnement effectif du système n'est donc pas le point de fonctionnement optimal, c'est-à-dire une antirésonance (Renault *et al.*, 2016). Le premier objectif de cette thèse consiste donc à travailler sur l'absorbeur lui-même et principalement sur la trajectoire du centre de masse des pendules. L'idée est de concevoir cette trajectoire afin de minimiser voire d'annuler ce désaccord.

Le deuxième objectif du travail de recherche est de comprendre l'impact des caractéristiques de la chaîne cinématique sur le pendule et de proposer des améliorations. Le pendule est traditionnellement implanté sur une inertie en rotation située après un premier étage de filtrage connecté au volant moteur. Compte tenu de l'objectif de vibration à atteindre sur une inertie différente de celle supportant le pendule, il est probable que le positionnement du pendule dans la chaîne de transmission n'est pas optimal. L'étude bibliographique a montré que ce travail n'a pas été abordé à ce jour.

On s'intéressera aussi à la prise en compte des effets de gravité. En effet la bibliographie contient uniquement des cas où le moteur tourne à une telle vitesse que le champ de pesanteur est légitimement négligé devant l'intensité du champ d'accélération centrifuge. Cependant la tendance est à la réduction des régimes de ralenti. L'étude du comportement dynamique de l'absorbeur dans cette configuration est donc nécessaire afin de garantir une filtration optimale des acyclismes même en cas de faible régime moteur.

Enfin, cette thèse nécessitera le développement de stratégies de simulations du comportement vibratoire non linéaire des pendules intégrés dans la chaîne cinématique, à l'intention du bureau d'étude. La pratique actuelle est fondée sur l'utilisation de méthodes de simulation temporelle de codes commerciaux. Cette thèse permettra le développement d'un outil de simulation dédié aux oscillations non linéaires dans le domaine fréquentiel, à partir d'une méthode de continuation de solutions périodiques (la méthode asymptotique numérique et l'équilibrage harmonique, via l'outil Manlab (Arquier *et al.*, 2005-2011) .

## 2. État de l'art

L'industrie aéronautique fut la première à aborder le problème des vibrations de torsion engendrées par les moteurs à combustion interne, principalement à cause de résonances de vilebrequin et de carlingue. Un exemple connu est le moteur radial *Dragonfly* conçu par G. Bradshaw en 1917 (ABC Motors). Malheureusement pour Bradshaw, la fréquence de fonctionnement nominale de son moteur coïncidait avec une fréquence naturelle d'un mode de torsion du vilebrequin. Il en résultait alors une durée de vie de cette pièce de seulement une ou deux heures (Gunston, 2006). En 1929, B.C. Carter a breveté le premier absorbeur pendulaire de type mono-filaire, directement monté sur le vilebrequin (Carter, 1929). L'absorbeur pendulaire moderne (type bi-filaire) fut breveté en 1930 par l'ingénieur français R.R.R. Sarazin (Sarazin, 1930)(Hispano Suiza). En 1935, R. Chilton (Pratt & Whitney) ap-



porte quelques modifications au concept de Sarazin (Chilton, 1935). Dès lors les premières recherches sur l'absorbeur pendulaire à trajectoire circulaire voient le jour (Hartog, 1938), (Newland, 1963), et (Newland, 1964). En 1980, J. F. Madden applique le principe du pendule de Huygens<sup>2</sup> (Huygens, 1673) à l'absorbeur pendulaire et préconise l'utilisation d'une trajectoire cycloïdale (Madden, 1980).

Les premières applications de l'absorbeur pendulaire au secteur automobile ont eu lieu au début des années 1990. En 1992, H. H. Denman (Ford Motor Company) montre que placé dans un champ d'accélération centrifuge constant, la trajectoire tautochrone d'un corps pendulaire est une épicycloïde (Denman, 1992). D'autres travaux ont été menés afin de construire la trajectoire du centre de gravité des masses pendulaires à partir du profil du couple acyclique (Lee et Shaw, 1996), dans le but de traiter une ou plusieurs harmoniques du couple moteur.

Les études conventionnelles admettent généralement l'hypothèse d'une réponse synchrone entre les masses pendulaires (assimilables alors à une seule masse oscillante). Cependant des auteurs ont montrés que cet état peut bifurquer vers d'autres modes d'oscillations (Chao *et al.*, 1997), (Lee et Shaw, 1997) sous l'influence notamment des amortissements du système. Des phénomènes de localisation d'énergie (Grolet, 2013) ont également été mis en évidence pour des absorbeurs pendulaires légèrement désaccordés entre eux (Alsuwaiyan et Shaw, 1999). Cependant, il a été montré qu'un sur-accord volontaire de l'absorbeur par rapport à l'ordre moteur permet d'éviter le phénomène de saut ainsi que la bifurcation de la réponse synchrone des pendules (Alsuwaiyan et Shaw, 2000). Cette règle est largement appliquée en industrie.

La littérature donne également des exemples d'approches expérimentales. Notamment (Shaw *et al.*, 2006) qui propose une validation de la solution théorique obtenue par une méthode de perturbation. Il en ressort que cette approche analytique donne de bons résultats. Cependant, il est à noter que le débattement maximum de la masse pendulaire n'atteint que 30% du débattement maximal possible. Plus récemment une étude s'est concentrée sur la prédiction du comportement de l'absorbeur en phase transitoire (Monroe et Shaw, 2013a), (Monroe et Shaw, 2013b).

## 2.1. Positionnement des travaux

La littérature montre que la quasi-totalité des études théoriques menées sur les absorbeurs pendulaires font appel à des méthodes de perturbation comme la méthode des échelles multiples ou encore la méthode de moyennation (Nayfeh et Mook, 1979). Ces approches analytiques sont extrêmement utiles pour les études paramétriques et permettent d'étudier de nombreux phénomènes complexes. Cependant elles ne sont généralement pas adaptées pour de très grandes amplitudes d'oscillation. D'autres

---

2. La cycloïde est la trajectoire tautochrone d'un corps pendulaire dans le champ de pesanteur (fréquence d'oscillation libre indépendante de l'amplitude d'oscillation).

études proposent une approche par intégration temporelle des équations de mouvement du système. Cette méthode présente l'avantage d'être facile à implémenter et est présente dans beaucoup de codes commerciaux. Elle est d'ailleurs largement utilisée dans l'industrie. Cependant elle peut demander un temps de simulation conséquent et elle ne fournit pas d'informations sur les solutions instables des systèmes dynamiques.

On propose dans ce travail de s'intéresser aux solutions périodiques du système via une méthode de continuation numérique, la méthode asymptotique numérique (MAN) (Cochelin, 1994), couplée à la méthode d'équilibrage harmonique (Cochelin et Vergez, 2009). La MAN présente l'avantage, contrairement aux méthodes de type prédiction-corrrection où la solution est calculée points par points, d'adopter une représentation en développement asymptotique, morceaux par morceaux, de la branche de solution. Cette approche est à la base d'un outil de calcul rapide et robuste, totalement en accord avec les attentes du monde industriel.

Il a été montré, au début du projet, que les fortes interactions inertielles entre le pendule et son voile support étaient à l'origine d'un désaccord de l'absorbeur à mesure que l'amplitude d'oscillation augmente, et ceci, même pour une trajectoire épicycloïdale qui par abus de langage est systématiquement appelée : trajectoire tautochrone. En effet, les phénomènes non linéaires à l'origine de ce désaccord ne sont pas tous capturés par les méthodes analytiques précitées. Ce premier point a fait l'objet d'une présentation lors de la 24<sup>ème</sup> conférence internationale ICTAM 2016 à Montréal (Canada)(Renault *et al.*, 2016). De plus un article est en cours de rédaction et sera soumis au *Journal of sound and vibration*.

Ce désaccord est, dans le pire cas identifié, à l'origine de perte de performance de l'absorbeur d'environ 30%. Suite à ce constat, les équations dynamiques du système ont été généralisées pour une allure de trajectoire quelconque et des règles de design ont été établies. Deux brevets ont été déposés pour le compte de Valeo Transmission (brevets pas encore publiés).

Dès lors, la prédiction de ce désaccord en fonction du débattement pendule s'est avéré être un enjeu essentiel pour le partenaire industriel. Une technique originale de continuation d'antirésonance a été établie, inspirée des techniques existantes de suivi de points limites des branches de solutions (Baguet et Cochelin, 2000), (Detroux *et al.*, 2015). Le point limite d'intérêt est détecté via le calcul d'une fonction test et l'ajout d'une équation de contrainte au système initial autorise son suivi par rapport à deux paramètres de continuation. La fréquence et l'amplitude d'excitation, par exemple. Ces travaux feront l'objet d'une présentation en mai 2017 au congrès CSMA à Giens (France). La rédaction d'un article sur le sujet est également prévue. Ce point est développé ci-dessous.

### 3. Contribution scientifique

#### 3.1. Solutions périodiques

Les équations de mouvement de l'absorbeur pendulaire peuvent s'écrire sous la forme :

$$M(\mathbf{x})\ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{f}_{in}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}) + C\dot{\mathbf{x}} + \mathbf{f}_{int}(\mathbf{x}) = \mathbf{F}\cos(\omega t), \quad [1]$$

où  $\mathbf{x}$  est le vecteur des inconnues,  $M(\mathbf{x})$  est la matrice de masse et dépend de  $\mathbf{x}$ .  $C$  est la matrice d'amortissement.  $\mathbf{f}_{in}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})$  est le vecteur des forces inertielles, incluant les termes de Coriolis, et dépend de  $\mathbf{x}$  et  $\dot{\mathbf{x}}$ .  $\mathbf{f}_{int}(\mathbf{x})$  est le vecteur des forces internes et dépend de  $\mathbf{x}$ . Ici, un seul oscillateur est forcé. Le vecteur des forces externes est donc  $\mathbf{F} = [0 \ \dots \ f \ \dots \ 0]$  où  $f$  est l'amplitude d'excitation de l'oscillateur forcé.

On s'intéresse ici aux solutions périodiques de [1], le vecteur d'inconnues est donc développé en série de Fourier tronquée :

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}_0 + \sum_{i=0}^H \mathbf{x}_{ci} \cos(i\omega t) + \mathbf{x}_{si} \sin(i\omega t). \quad [2]$$

En substituant [2] dans [1] et en appliquant la procédure d'équilibrage harmonique, on obtient un système algébrique non linéaire dépendant de  $\mathbf{x}_0$ ,  $\mathbf{x}_{ci}$ ,  $\mathbf{x}_{si}$ ,  $\omega$  et  $f$ . La précision des solutions de ce système dépend de  $H$ , le nombre d'harmoniques retenues dans [2]. Le système final à résoudre peut s'écrire :

$$\mathbf{R}(\mathbf{U}, \omega, f) = 0. \quad [3]$$

Où  $\mathbf{U} = [\mathbf{x}_0 \ \mathbf{x}_{ci} \ \mathbf{x}_{si} \ \dots \ \mathbf{x}_{cH} \ \mathbf{x}_{sH}]$ . La méthode classique de continuation numérique, en régime forcé, consiste à considérer  $\omega$  ou  $f$  comme paramètre de continuation et à calculer les solutions par rapport à l'un d'entre eux en imposant l'autre constant (Cochelin et Vergez, 2009). Dans le cas de vibrations libres ( $f = 0$ ), la fréquence d'oscillation peut aussi être calculée comme une fonction de l'amplitude des oscillations. Dans ce cas, le système doit être conservatif ( $C = \mathbf{0}$ ) (Karkar *et al.*, 2014).

Finalement, [3] est résolu par la méthode asymptotique numérique, pour laquelle une refonte quadratique de [3] est nécessaire (Cochelin et Vergez, 2009). Contrairement aux algorithmes de type prédiction-corrrection, où la solution est calculée point par point, la MAN considère une représentation continue morceau par morceau de la solution, en utilisant un développement asymptotique de cette dernière, à partir d'un point de solution connu ( $\mathbf{U}_0, \omega_0$ ), par rapport à un paramètre  $a$ . Dans le cas d'une continuation par rapport à  $f$  constant, on écrit :

$$\mathbf{U}(a) = \mathbf{U}_0 + a\mathbf{U}_1 + a^2\mathbf{U}_2 + \dots + a^N\mathbf{U}_N. \quad [4]$$

$$\omega(a) = \omega_0 + a\omega_1 + a^2\omega_2 + \dots + a^N\omega_N. \quad [5]$$

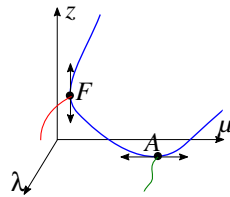
On précise qu'à ce stade le paramètre de contrôle  $\omega$  est également inconnu et le système [3] est sous-déterminé. La définition du paramètre  $a$  fournit une équation supplémentaire qui permet de fermer ce système (Cochelin, 1994). Ici,  $a$  représente la pseudo longueur d'arc le long de la branche de solution. En injectant [4] dans [3] puis en ordonnant les termes suivant les puissances de  $a$ , on obtient une succession de systèmes linéaires en cascade à résoudre.

### 3.2. Continuation de points singuliers

On s'intéresse maintenant à suivre des points singuliers des courbes solutions, notamment les points d'antirésonance, lorsque l'amplitude d'une des coordonnées du système est minimale en fonction de  $\omega$ . On s'inspire pour cela du suivi de points limites, bien connu (Baguet et Cochelin, 2000). On considère le système algébrique non linéaire défini par :

$$\tilde{\mathbf{R}}(\tilde{\mathbf{U}}, \mu, \lambda) = \begin{cases} \mathbf{R}(\mathbf{U}, \mu, \lambda) = 0 \\ z - f(\mathbf{U}) = 0 \end{cases} \quad [6]$$

avec  $\tilde{\mathbf{U}} = [\mathbf{U}z]^T$ . Pour être plus général, on choisit  $\mu$  et  $\lambda$  comme paramètres de continuation.  $z$  est une inconnue scalaire. On suppose que la courbe de réponse  $z = g(\mu, \lambda)$ , pour  $\lambda$  constant, comporte un point limite  $F$  et un minimum  $A$  (Figure 1).



**Figure 1.** Illustration du suivi du point limite  $F$  et du minimum  $A$  en fonction de l'évolution de  $\lambda$

#### 3.2.1. Suivi de point limite

Le suivi de  $F$  en fonction de l'évolution de  $\lambda$  implique d'adjoindre à [6] une équation imposant la singularité de  $\tilde{\mathbf{J}}$ , la matrice jacobienne de  $\tilde{\mathbf{R}}$  par rapport à  $\tilde{\mathbf{U}}$ . En effet, si on différencie  $\tilde{\mathbf{R}}$  par rapport à  $\mu$  on obtient :

$$\frac{\partial \tilde{\mathbf{R}}}{\partial \tilde{\mathbf{U}}} \frac{d\tilde{\mathbf{U}}}{d\mu} + \frac{\partial \tilde{\mathbf{R}}}{\partial \mu} = 0 \quad [7]$$

La tangente au point  $F$  sur la courbe  $z = g(\mu, \lambda)$ , pour  $\lambda$  donné, est verticale.  $\frac{d\tilde{\mathbf{U}}}{d\mu}$

n'est donc pas défini et  $\frac{\partial \tilde{\mathbf{R}}}{\partial \mu}$  est non nul (Seydel, 2010). Donc  $\frac{\partial \tilde{\mathbf{R}}}{\partial \tilde{\mathbf{U}}}$  doit être singulier.

En pratique, on résout :

$$\begin{cases} \tilde{\mathbf{R}}(\tilde{\mathbf{U}}, \mu, \lambda) = 0 \\ \det(\tilde{\mathbf{J}}) = 0 \end{cases} \quad [8]$$

### 3.2.2. Suivi d'antirésonance

Le point A, assimilable à une antirésonance, n'est pas un point limite. L'idée consiste donc à définir un nouveau système algébrique à partir de [6] dans lequel  $z$  devient le paramètre de contrôle,  $\mu$  une inconnue et  $\lambda$  une constante :

$$\mathbf{R}^*(\mathbf{U}^*, z, \lambda) = 0 \quad [9]$$

avec  $\mathbf{U}^* = [\mathbf{U}\mu]^\top$ . Ainsi,  $\mathbf{J}^*$ , la matrice jacobienne de  $\mathbf{R}^*$  par rapport à  $\mathbf{U}^*$  devient singulière au point A. En effet, [9] implique :

$$\frac{\partial \mathbf{R}^*}{\partial \mathbf{U}^*} \frac{d\mathbf{U}^*}{dz} + \frac{\partial \mathbf{R}^*}{\partial z} = 0 \quad [10]$$

Pour le système [9], la tangente au point A de  $z(\mu, \lambda)$ , pour  $\lambda$  donné, est verticale (car on a échangé les rôles de  $\mu$  et  $z$ ),  $\frac{d\mathbf{U}^*}{dz}$  n'est donc pas défini et  $\frac{\partial \mathbf{R}^*}{\partial z}$  est non nul (Seydel, 2010). Donc  $\frac{\partial \mathbf{R}^*}{\partial \mathbf{U}^*}$  doit être singulier. Cette condition peut être satisfaite en égalisant à zéro le déterminant de  $\mathbf{J}^*$ . En pratique, on préfère utiliser le vecteur propre  $\Phi$  de  $\mathbf{J}^*$  (Baguet, 2001), tel que :

$$\det(\mathbf{J}^*) = 0 \iff \exists \Phi \neq 0; \mathbf{J}^* \Phi = 0. \quad [11]$$

Le système final à résoudre s'écrit :

$$\begin{cases} \tilde{\mathbf{R}}(\tilde{\mathbf{U}}, \mu, \lambda) = 0 \\ \mathbf{J}^* \Phi = 0 \\ \|\Phi\| - 1 = 0 \end{cases} \quad [12]$$

La troisième équation de [12] normalise  $\Phi$  afin que  $\Phi \neq 0$  et assure l'unicité de la solution.

### 3.3. Application

On propose d'illustrer la méthode décrite plus haut sur le système algébrique :

$$\mathbf{R}(\mathbf{U}, \mu, \lambda) = \begin{cases} z_1 z_2 - \mu^2 = 0 \\ z_1 (z_2 + 10) + 20 - \lambda \mu = 0 \end{cases} \quad [13]$$

où  $\mathbf{U} = [z_1, z_2]$ ,  $\mu$  et  $\lambda$  sont les deux paramètres de contrôle. On associe à [13] la fonction scalaire :

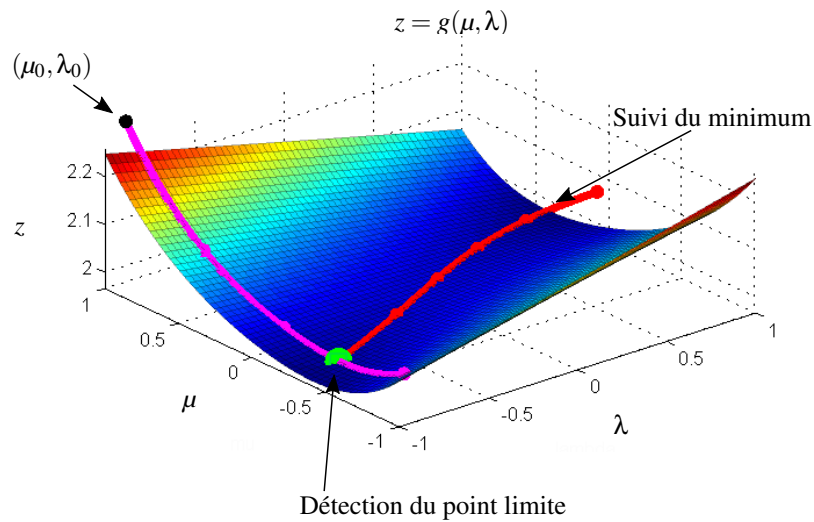
$$z^2 - z_1^2 - z_2^2 = 0 \quad [14]$$

Le système [13] a été construit tel que la fonction  $z = g(\mu, \lambda)$  pour  $-1 \leq \mu \leq 1$  et  $-1 \leq \lambda \leq 1$  représente une surface 3D comportant un minimum (figure 2). De manière plus générale, les inconnues  $z_1$  et  $z_2$  peuvent être vues respectivement comme les parties cosinus et sinus d'une solution harmonique dont la norme est égale à  $z$ .

$J^*$  a donc comme expression :

$$J^* = \frac{\partial R^*}{\partial U^*} = \begin{bmatrix} z_2 & z_1 & -2\mu \\ z_2 + 10 & z_1 & -\lambda \\ -2z_1 & -2z_2 & 0 \end{bmatrix} \quad [15]$$

La figure 2 illustre la méthode de continuation d'antirésonance.



**Figure 2.** Illustration de la méthode de continuation d'antirésonance

#### 4. Conclusion et perspectives

Les équations de la dynamique de l'absorbeur pendulaire ont été généralisées à une trajectoire de centre de masse quelconque et une architecture de chaîne cinématique automobile quelconque puis implémentées dans le code de calcul Manlab. Ces développements ont été validés avec les moyens de calculs temporels standards du partenaire industriel et expérimentalement. La méthode de suivi d'antirésonance est une aide précieuse au design de l'absorbeur pendulaire, et permet une conception "personnalisée" à l'application à traiter. Les travaux actuels visent à mieux comprendre les interactions de l'absorbeur dans l'environnement véhicule. La fin du projet se concentrera sur l'étude des solutions non-synchrones identifiées dans la littérature. En effet l'apport de l'effet de gravité aux équations dynamiques permettra de désymétriser le comportement des pendules et ainsi de calculer de potentielles solutions multiples.

## 5. Bibliographie

- Alsuwaiyan A., Shaw S., « Localization of free vibration modes in systems of nearly identical vibration absorbers », *Journal of Sound and Vibration*, vol. 228, n° 3, p. 703 - 711, 1999.
- Alsuwaiyan A., Shaw S., « Performance and dynamic stability of general-path centrifugal pendulum vibration absorbers », *Journal of Sound and Vibration*, vol. 252, n° 5, p. 791 - 815, 2000.
- Arquier R., Karkar S., Lazarus A., Thomas O., Vergez C., Cochelin B., « Manlab 2.0 : an interactive path-following and bifurcation analysis software », *Technical report*, 2005-2011.
- Baguet S., *Stabilité des structures minces et sensibilité aux imperfections par la méthode asymptotique numérique*, Thèse, Université Aix-Marseille II, 2001.
- Baguet S., Cochelin B., « Determination of branches of limit points by an asymptotic numerical method », *European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering*, 2000.
- Carter B. C., « Improvement in or relating to damping or oscillation checking devices », *U. K. Patent 337 466*, 1929.
- Chao C.-P., Lee C.-T., Shaw S., « Non-unisson dynamics of multiple centrifugal pendulum vibration absorbers », *Journal of Sound and Vibration*, vol. 204, n° 5, p. 769 - 794, 1997.
- Chilton R., « Pendulum counterweight », *U. S. Patent 2 112 884*, 1935.
- Cochelin B., « A path-following technique via an asymptotic-numerical method », *Computers & Structures*, vol. 53, n° 5, p. 1181 - 1192, 1994.
- Cochelin B., Vergez C., « A high order purely frequency-based harmonic balance formulation for continuation of periodic solutions », *Journal of Sound and Vibration*, vol. 324, n° 12, p. 243 - 262, 2009.
- Denman H., « Tautochronic bifilar pendulum torsion absorbers for reciprocating engines », *Journal of Sound and Vibration*, vol. 159, p. 251 - 277, 1992.
- Detroux T., Renson L., Masset L., Kerschen G., « The harmonic balance method for bifurcation analysis of large-scale nonlinear mechanical systems », *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 296, p. 18 - 38, 2015.
- Grolet A., *Dynamique non-linéaire des structures mécaniques : application aux systèmes à symétrie cyclique*, PhD thesis, Ecole centrale de Lyon, 2013.
- Gunston B., *World encyclopedia of aero engines*, Sutton publishing, 2006.
- Hartog J. P. D., *Stephen Timoshenko 59th Anniversary Volume, Tuned Pendulums as Torsional Vibration Eliminators*, London : Macmillan, 1938.
- Huygens C., *Horologium oscillatorium sive de motu pendularium*, Paris, 1673.
- Karkar S., Cochelin B., Vergez C., « A comparative study of the harmonic balance method and the orthogonal collocation method on stiff nonlinear systems », *Journal of Sound and Vibration*, vol. 333, n° 12, p. 2554 - 2567, 2014.
- Lee C.-T., Shaw S., « On the counteraction of periodic torques for rotating systems using centrifugally driven vibration absorbers », *Journal of Sound and Vibration*, vol. 191, n° 5, p. 695 - 719, 1996.
- Lee C.-T., Shaw S., « The non-linear dynamic response of paired centrifugal pendulum vibration absorbers », *Journal of Sound and Vibration*, vol. 203, n° 5, p. 731 - 743, 1997.
- Madden J. F., « Constant frequency bifilar absorber », *U. S. Patent 4 218 187*, 1980.

- Monroe R. J., Shaw S. W., « Nonlinear transient dynamics of pendulum torsional vibration absorbers - Part 1 : Theory », *Journal of Vibration and Acoustics*, 2013a.
- Monroe R. J., Shaw S. W., « Nonlinear transient dynamics of pendulum torsional vibration absorbers - Part 2 : Experimental results », *Journal of Vibration and Acoustics*, 2013b.
- Nayfeh A. H., Mook D. T., *Nonlinear oscillations*, John Wiley & Sons, 1979.
- Newland D. E., *Nonlinear Vibrations : A Comparative Study with Applications to Centrifugal Pendulum Vibration Absorbers*, PhD thesis, M.I.T., 1963.
- Newland D. E., « Nonlinear Aspects of the Performance of Centrifugal Pendulum Vibration Absorbers », *ASME Journal of Engineering for Industry*, vol. 86, p. 257 - 263, 1964.
- Renault A., Thomas O., Mahé H., Lefebvre Y., « Hardening softening behavior of antiresonance for non linear torsional vibration absorbers », *24<sup>th</sup> International Congress of Theoretical and Applied Mechanics*, 2016.
- Sarazin R. R. R., « Means adapted to reduce the torsional oscillations of crankshafts », *U. S. Patent 2 079 226*, 1930.
- Seydel R., *Practical Bifurcation and Stability Analysis. 3rd. Edition.*, Interdisciplinary Applied Mathematics. 5, Springer, 2010.
- Shaw S. W., Schmitz P., Haddow A. G., « Tautochronic vibration absorbers for rotating systems », *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*, vol. 1, n<sup>o</sup> 4, p. 283 - 293, 2006.





---

## **Etude et développement d'un modèle mathématique pour la mesure et l'analyse, par radiographie, des défauts géométriques de surface de capsules nécessaires aux expériences sur les lasers de puissance.**

**Dutto Vincent\*<sup>1</sup>, Choux Alexandre<sup>1</sup>, Busvelle Eric<sup>2</sup>, Gauthier Jean-Paul<sup>2</sup>.**

<sup>1</sup> CEA, Valduc

<sup>2</sup> LSIS, Université de Toulon

\*vincent.dutto@cea.fr

---

*RÉSUMÉ. Des capsules sont développées pour être expérimentées sur le Laser Mégajoule. Elles doivent être aussi parfaites que possible en termes de qualité de surface, d'épaisseurs et de sphéricité. Elles peuvent être caractérisées par radiographie à rayonnement X. Cette caractérisation permet l'obtention d'informations sur leur(s) surface(s) interne(s) et externe. Un phénomène physique apparaît sur certaines radiographies : le contraste de phase. Sa connaissance peut améliorer la caractérisation des capsules. Ce papier présente l'avancement des travaux de thèse visant à réaliser un modèle mathématique basé sur les équations de Maxwell. La méthode de Born permet d'obtenir des solutions aux équations des ondes de Maxwell. Cette démarche permet de modéliser une radiographie d'une capsule où apparaît du contraste de phase. La simulation ainsi effectuée est comparée à l'expérimentation afin de valider le modèle.*

*ABSTRACT. Capsules are developed to be experimented on the Laser Megajoule. They have to be as perfect as possible with respect to surface quality, wall thicknesses and spherical uniformity. They can be characterized using X-ray source which allows having information on their outer and inner surfaces. A phenomenon appears on some radiograph: the phase contrast. Its knowledge can improve the capsules' characterization. This paper presents the PhD work in progress in order to develop a mathematical model of the phase contrast based on Maxwell equations. The Born method allows solving the Maxwell equations. A virtual picture is computed for a perfectly spherical capsule. This virtual picture is compared to an experimental radiograph.*

*MOTS-CLÉS : modélisation, radiographie X, contraste de phase.*

*KEYWORDS: modelisation, X-rays radiography, phase contrast.*

---

## 1. Sujet de thèse

La France s'est dotée d'un grand instrument de physique, le Laser MegaJoule, pour réaliser des expérimentations visant à étudier certains phénomènes physiques. Ces études d'interaction laser – matière requièrent, pour chaque expérience, une cible composée d'un grand nombre d'éléments assemblés entre eux. Ces éléments de cibles sont de natures différentes (métallique, organique ou inorganique), de géométrie variable parfaitement maîtrisée (parallélépipède, cylindre, sphère...), et ont la particularité d'être toujours de taille millimétrique.

Un des éléments couramment utilisé au cours de ces expériences est la capsule en polymère de diamètre de 1 à 2 mm pour laquelle la rugosité, les déformations et les défauts ponctuels de surface doivent être maîtrisés et caractérisés. Pour cela une des techniques utilisée est la radiographie X. Or, un phénomène de contraste de phase apparaît et rend la caractérisation des interfaces moins précise. La compréhension et l'interprétation du phénomène de contraste de phase permettent d'améliorer la définition de ces interfaces.

Le but de cette étude est, dans un premier temps, de comprendre l'interaction rayons X – matière qui donne naissance au contraste de phase. Ce dernier est observable sur les profils en niveau de gris, passant par le centre de la capsule, extraits des clichés radiographiques. Il s'agit d'établir un lien entre le contraste de phase visible sur l'image et la (ou les) différente(s) surface(s) de la capsule rencontrée(s) par le rayonnement ionisant. Ceci permet de mettre en relation la déformation observable sur le cliché des anneaux de contraste de phase et la déformation géométrique de la (ou des) surface(s) de la capsule. Cette relation est obtenue par une variation autour de la modélisation d'une capsule parfaite.

Ensuite, l'utilisation (voire le développement) d'un logiciel de détection de contour (ou plus généralement d'extraction de caractéristiques) permet d'isoler l'information contenue par le contraste de phase dans les clichés radiographiques.

Puis, la résolution d'un problème inverse (à partir de données extraites des clichés pour remonter à la modélisation des déformations des surfaces de la capsule) permet d'estimer les perturbations géométriques en 3 dimensions des surfaces de la capsule. Cette méthode est, pour finir, validée et implémentée sur le dispositif de radiographie intervenant dans la chaîne de fabrication des capsules expérimentées sur le LMJ.

## 2. Etat de l'art

Les rayons X sont considérés comme des ondes électromagnétiques régies par les équations de Maxwell. Ces ondes se propagent et se déforment si le milieu qu'elles traversent est hétérogène. La caractéristique principale du milieu est l'indice de réfraction complexe  $n$ , où la partie réelle correspond au déphasage, et la partie imaginaire à l'absorption. C'est cette partie réelle qui est liée au contraste de phase. Celui-ci dépend du matériau (indice de réfraction) des capsules. En effet, le matériau

doit être peu absorbant aux rayons X et l'énergie du générateur à rayons X suffisamment faible pour que le contraste de phase soit observable sur les radiographies.

Dans la littérature, trois grands domaines de modélisation de la propagation des rayons X existent [1] : les modélisations basées sur l'équation du transport de l'intensité, celles basées sur l'optique, et enfin celle basées sur les équations de l'électromagnétisme. Il n'existe aucune référence bibliographique expliquant exactement le phénomène de contraste de phase. Afin d'obtenir un modèle tenant compte du contraste de phase, l'utilisation de l'équation exacte de la propagation des ondes électromagnétiques en milieu hétérogène [2] est alors nécessaire. Le champ reçu, au point d'observation sur l'écran  $\mathbf{r}$ , s'écrit alors :

$$U(\mathbf{r}) = U_0(\mathbf{r}) + \int F(\mathbf{r}')U(\mathbf{r}')G(\mathbf{r}, \mathbf{r}')d\mathbf{r}'$$

avec  $U_0(\mathbf{r})$  le champ émis par la source en  $\mathbf{r}$ ,  $F(\mathbf{r}')$  le potentiel de diffusion fonction de l'indice de réfraction  $n$  au point  $\mathbf{r}'$ ,  $G(\mathbf{r}, \mathbf{r}')$  le propagateur de  $\mathbf{r}'$  à  $\mathbf{r}$  qui est une fonction de Green.

Cette équation, pour le problème rencontré, n'a pas de solution exacte. Pour résoudre cette équation et approcher au mieux la solution exacte, la méthode de Born [2] est choisie. C'est une méthode itérative, qui permet de construire une suite de fonction (solution de l'équation de Born à l'ordre  $p$ ). Cette suite est convergente vers la solution lorsque le milieu est peu dispersant, c'est-à-dire que l'indice de réfraction est proche de 1. Au premier ordre la solution est :

$$U_1(\mathbf{r}) = U_0(\mathbf{r}) + \int F(\mathbf{r}')U_0(\mathbf{r}')G(\mathbf{r}, \mathbf{r}')d\mathbf{r}'.$$

La méthode de Born permet aussi une simplification des calculs, lors de l'introduction de perturbations autour de la sphère parfaite. C'est donc cette méthode qui est privilégiée pour réaliser la modélisation d'une sphère imparfaite.

### 3. Contribution scientifique et publications

#### 3.1. Contribution scientifique

Il n'existe pas de primitive usuelle pour calculer l'intégrale de la méthode de Born. Une approximation numérique de cette intégrale doit alors être utilisée. Les rayons X ayant un nombre d'onde  $k$  proche de  $10^{10}$ , une fonction fortement oscillante doit être intégrée. Un développement asymptotique a été choisi pour solder ce problème. Ce développement est exact uniquement pour une fonction oscillante. Dans notre cas, la fonction n'est pas oscillante sur tout le domaine d'intégration. Le domaine est scindé en deux parties : celui où la fonction est oscillante, et celui où elle ne l'est pas. La limite entre les deux domaines est choisie arbitrairement jouant par la suite un rôle dans la précision des résultats obtenus par la méthode. Cette limite dépend d'un cône ayant pour angle d'ouverture  $\varepsilon$ . Grâce au développement asymptotique (cf. Olver [3]), la partie oscillante peut être calculée :

$$\int_{d\Omega} f(x)e^{ikg(x)} dx = -\frac{1}{ik} \int_{dV} \nabla \left[ \frac{f(x)}{||\nabla g(x)||^2} \nabla g(x) \right] e^{ikg(x)} dx + O\left(\frac{1}{k^2}\right)$$

La partie non-oscillante quant à elle est calculée numériquement par la méthode de Monte Carlo permettant l'approximation de l'intégrale. Un compromis doit alors être trouvé entre le temps de calcul (nombre de points pris pour appliquer la méthode de Monte Carlo) et l'ouverture  $\varepsilon$  du cône. Les calculs montrent que la partie développée asymptotiquement contribue peu au résultat final. Le calcul de la solution à l'aide de la méthode de Born ne se fait alors que sur la partie oscillante.

La méthode de Born est utilisée au premier ordre, en connaissance des paramètres dimensionnels (position de la source, de la capsule, de l'écran, taille de la capsule). L'indice de réfraction n'est pas connu. Une minimisation est réalisée pour l'estimer avec la formule de Beer-Lambert ou avec la solution obtenue selon la méthode de Born au 1<sup>er</sup> ordre. Les récents avancements montrent une absorption et un contraste de phase identiques entre les profils tirés de clichés expérimentaux et les profils simulés (cf. **Figure 1**).

Une itération au second ordre est à l'œuvre pour déterminer si la suite de solutions obtenue par la méthode de Born converge bien vers la solution exacte.

#### 3.2. Publications

Un article ainsi qu'un poster ont été réalisés pour le proceeding de la conférence intitulée *World Conference of Non-Destructive Testing 2016* [4].

Une deuxième publication est en cours de rédaction pour le journal nommé *Fusion Sciences & Technologies* faisant suite à un poster [5] réalisé pour la conférence intitulée *Target Fabrication Meeting 2017*.

#### 4. Conclusion et perspectives

Afin de réaliser la caractérisation d'une capsule, la modélisation d'un cliché radiographique X est réalisée. Cette dernière est élaborée en partant de l'équation de la propagation des ondes électromagnétiques en milieu hétérogène. Les solutions à ces équations sont déterminées à l'aide de la méthode de Born. Cette dernière est une méthode itérative. La solution comporte un problème d'intégration de fonction très oscillante, résolu en utilisant un développement asymptotique. L'utilisation de la méthode de Born au premier ordre ne permet pas de simuler une amplitude de contraste de phase similaire à la réalité. La méthode de Born est actuellement poussée au deuxième ordre.

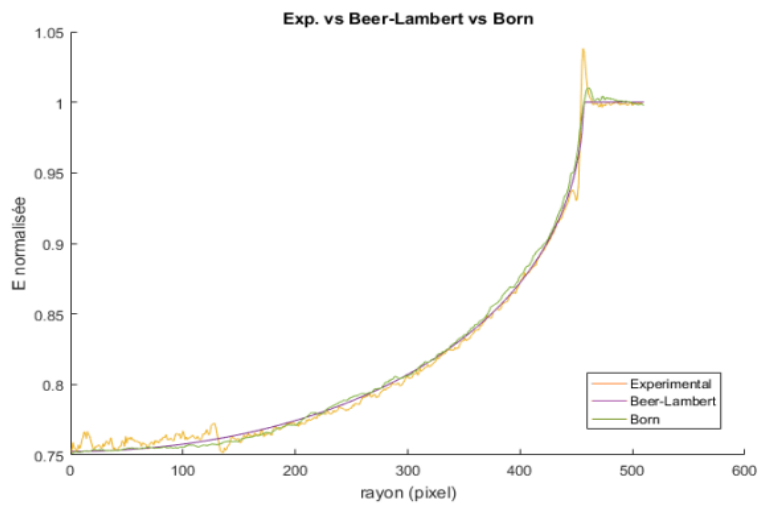
Les travaux actuels de la thèse portent sur la modélisation de la capsule imparfaite. Cette modélisation sera effectuée via l'introduction de perturbations décrites en harmoniques sphériques. La relation entre la déformation observable des anneaux de contraste de phase et la déformation géométrique de la (ou des) surface(s) de la capsule sera alors connue.

La résolution du problème inverse (à partir de données extraites des clichés pour remonter aux déformations des surfaces de la capsule) permettra d'estimer les perturbations géométriques en 3 dimensions des surfaces de la capsule.

Cette méthode sera validée et implémentée sur le dispositif de radiographie intervenant dans la chaîne de production des capsules.

#### 5. Bibliographie

- [1] Wilkins S. W., Gureyev T. E., Gao D., Pogany A., Stevenson A. W., *Phase-contrast imaging using polychromatic hard X-rays*, Letters to nature, november 1996.
- [2] Born M., Wolf E., *Principles of optics 7<sup>th</sup> expanded edition*, 1999, p. 695.
- [3] Olver S., *Numerical approximation of highly oscillating integral*, Thèse de doctorat, Université de Cambridge, 2008, p. 19.
- [4] Choux A., Dutto V., Busvelle E., Gauthier J.-P., *Phase contrast for the characterization of the surface of microshell*, WCNDT 2016, Munich, 2016.
- [5] Dutto V., Choux A., Busvelle E., Gauthier J.-P., Reverdy L., Theobald M., *Mathematical model to study the X-rays phase contrast phenomenon*, TFM 2017, Las Vegas, 2017.



**Figure 1** : Comparaison du profil expérimental (en orange) et des profils théoriques obtenus avec la loi de Beer-Lambert (en indigo) et en utilisant la méthode de Born au premier ordre (en vert) correspondant à une bille de plastique de 1mm de diamètre.

## Les métriques sous Finslerienne en dimension 3

Fazia Harrache\*\* \_ Francesca Carlotta Chittaro \* \_ Jean Paul André Gauthier\*

*\*Laboratoire des Sciences de L'information et des sciences – LSIS – UTLN 83957 LA GARDE CEDEX.*

*Francesca.chittaro@univ-tln.fr*

*\*\*Laboratoire de Conception et Conduite des Systèmes de Production - L2CSP- UMM 15000 TIZI-OUZOU.*

*Fazia.harrache@gmail.com*

---

*RESUME : On définit la notion de la géométrie sous-Finslerienne comme une généralisation de la géométrie sous-Riemannienne avec des applications de la théorie du contrôle optimal. En particulier, on considère la structure de Heisenberg, on caractérise les courbes extrémales, on détermine les points conjugués et les points de coupure puis on étudie la forme de la sphère unitaire.*

*ABSTRACT : We define the notion of sub-Finsler geometry as a generalization of sub-Riemannian geometry with applications of the optimal control theory. In particular, we consider the Heisenberg structure, we characterize extremal curves, we determine conjugate points and cut points then we study the unit sphere form.*

*MOTS-CLES : Groupe de Heisenberg, Contrôle Optimal, Principe de Maximum de Pontriaguin, Géométrie sous-Finslerienne.*

*KEYWORDS : Heisenberg Group, Optimal Control, Maximum Principle of Pontriaguin, sub-Finsler Geometry.*

---



## 1. Motivation :

En mathématiques, les variétés sous-Riemanniennes sont une généralisation des variétés Riemanniennes: de façon générale, une variété sous-Riemannienne est une variété différentielle sur laquelle seulement une certaine famille de vecteurs – dits *vecteurs horizontaux* – est munie d'un produit scalaire. Ceci implique qu'il est possible de calculer la longueur seulement pour les courbes horizontales, c.-à-d. celle dont le vecteur tangent est horizontal.

Plus précisément, on définit une variété sous-Riemannienne comme une triple  $(M, D, g)$  où  $M$  est une variété différentielle,  $D$  une distribution de dimension constante sur  $M$  et  $g$  un produit scalaire sur  $g$ . Le problème sous-Riemannien consiste à trouver, pour tout couple  $(x_0, x_f)$  deux points de  $M$ , la distance entre  $x_0$  et  $x_f$  définie comme l'infimum de la longueur de toute courbe horizontale reliant  $x_0$  et  $x_f$  (pour tout détails, on conseille les notes [1]).

Le problème sous-Riemannien peut être écrit sous forme d'un problème de contrôle optimal, avec coût quadratique dans le contrôle. Vice-versa, plusieurs problèmes issus, entre autres, de la robotique, de la planification des trajectoires, et de la reconstruction d'images, peuvent être traités comme des problèmes de géométrie sous-Riemannienne (voir par exemple [3]-[4]-[5]-[6] et leurs références).

Récemment, les problèmes de contrôle optimal qui visent à minimiser des critères non lisses par rapport au contrôle (par exemple, le coût est la norme  $L^1$  du contrôle) ont gagné beaucoup d'intérêt (voir par exemple [7]-[8]-[9]). Le problème sous-Finslerien  $L^1$  est un d'eux.

## 2. Description du problème (problème sous-Finslerien):

Une variété Finslerienne est définie comme une variété différentielle  $M$  et d'une distribution  $D$  sur  $M$ , de dimension constante plus petite que la dimension de  $M$ , munie d'une structure Finslerienne.

Plus précisément, soit  $D$  un sous-fibré du fibré tangent  $TM$ , et soit  $F:TM \rightarrow \mathbb{R}$  une fonction lisse telle que, pour tout vecteur tangent  $V$  en  $D$ , les propriétés ci-dessous sont satisfaites :

- $F$  est lisse sur l'ensemble complémentaire de la section nulle de  $D$ .
- $F(V) \geq 0$ .
- $F(\lambda V) = \lambda F(V)$  pour tout  $\lambda \geq 0$ .
- $F(V+W) \leq F(V) + F(W)$  pour tout  $V$  et  $W$  contenus dans le même espace tangent.

De cette structure on peut définir une distance entre deux points de  $M$  comme l'infimum de la longueur de tous les chemins tangent à  $D$  qui relie les deux points, et elle est fixée à l'infini si tels chemins n'existent pas.

Le problème de calcul de la distance entre deux points peut être formulé comme un problème de contrôle optimal : étant donnés  $m$  champs de vecteurs  $\{X_1, \dots, X_m\}$  sur  $M$  qui engendrent localement la distribution  $D$ , les chemins *horizontaux* coïncident avec les solutions du système de contrôle :

$$\dot{\xi}(t) = \sum_{i=1}^m u_i X_i(\xi(t)) \quad (1)$$

Où les contrôles  $\{u_1, \dots, u_m\}$  sont des fonctions de  $L^1$  du temps. Soit  $\gamma$  un chemin solution de (1) pour  $t \in [t_0, t_1]$  ; la longueur de  $\gamma$  est définie comme l'intégrale

$$\int_0^1 F(\dot{\xi}(t)) dt \quad (2)$$

La distance entre deux points  $p, q \in M$  est donc définie comme l'infimum de la longueur de toute courbes horizontales reliant  $p$  à  $q$  (en posant cette distance égale à l'infini si telle courbe n'existe pas). Le problème de trouver la distance sous-Finslerienne entre deux points est donc équivalent au problème de contrôle optimal qui vise à minimiser l'intégrale (2), parmi toutes les courbes qui sont solutions du système de contrôle (1) qui satisfont les conditions initiales  $\xi(0) = p, \xi(1) = q$ .

### 3. Structure de contact sous-Finslerienne en dimension 3 :

Dans la suite, on considérera la variété  $M = \mathbb{R}^3$ . Soient  $f, g$  deux champs de vecteurs lisses tels que, pour tout  $q \in M$ , l'espace engendré par  $f, g$  et le crochet  $[f, g]$  en dimension 3; ceci définit une structure de contact sur  $\mathbb{R}^3$ .

On remarque en particulier que, d'après le Théorème de Chow [2], le système est contrôlable; en particulier, pour tout couple de points  $(x_0, x_f)$  en  $\mathbb{R}^3$ , il existe au moins une courbe horizontale qui joint les deux points en temps 1.

On définit la norme suivante sur la distribution  $\text{span}\{f, g\}$  :

Pour tout  $V = af + bg$ ,  $|V| = |a| + |b|$ . Il suit que, pour toute courbe  $\gamma$  solution de

$$\dot{\gamma}(t) = u_1 f(\gamma) + u_2 g(\gamma)$$

La longueur de gamma est définie comme l'intégrale

$$\int_0^1 V(u_1(t)f + u_2(t)g) dt$$

Le plus simple des systèmes de contact en dimension 3 est le système de Heisenberg, où les champs

$$f \text{ et } g \text{ sont donnés par } : f(\gamma) = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -\frac{y}{2} \end{pmatrix} \text{ et } g(\gamma) = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ \frac{x}{2} \end{pmatrix}$$

Le système de Heisenberg est particulièrement simple parce qu'il est linéaire et *nilpotent de degré 2*, c'est à dire tous les crochets de Lie d'ordre majeure ou égale à 2 sont identiquement nuls.

On a commencé notre analyse des problèmes de contact en dimension 3 en étudiant en détail le problème sous-Finslerien associé au système de Heisenberg. En particulier, on est intéressé au cas où le point initial  $X_0$  est l'origine  $(0, 0, 0)$ .

Tout d'abord, on a montré que le problème (1)-(2) associé au système de Heisenberg peut être reformulé comme le problème de temps minimal

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\gamma} = u_1 f(\gamma) + u_2 g(\gamma) \\ \gamma(0) = 0, \gamma(T) \text{ fixé} \\ \int_0^T \varphi(t) dt \rightarrow \min \\ \varphi(t) = 1 \\ |u_1| + |u_2| \leq 1 \end{array} \right.$$

En appliquant le théorème de Filippov [2], il est possible de montrer que le minimum existe et il est toujours atteint.

En appliquant le principe de Maximum de Pontryagin (PMP), il est possible de montrer les faits suivants :

- les contrôles optimaux appartiennent toujours au bord de l'ensemble  $|u_1| + |u_2| \leq 1$ ,  
en particulier  $|u_1| + |u_2| = 1$  .
- il existe deux type de trajectoires optimales : les *singulières*, où le contrôle appartient à une des côtés du carré  $\{|u_1| + |u_2| = 1\}$  (c-à-d.  $u_1 + u_2 = 1$  pour tout  $t$  , ou  $u_1 - u_2 = 1$  pour tout  $t$  ) et les *bang-bang*, c'est à dire des trajectoires dont le contrôle a valeurs sur les coins du carré  $\{|u_1| + |u_2| = 1\}$  .
- pour les arcs bang, les suites possibles de contrôles sont  $\{\dots; (0, -1); (1, 0); (0, 1); (-1, 0); (0, -1); (1, 0); \dots\}$  ou  $\{\dots; (0, 1); (1, 0); (0, -1); (-1, 0); (0, 1); (1, 0) \dots\}$  . Les arcs bang ont tous la même longueur  $\Delta T$  sauf éventuellement le premier, qui peut avoir une longueur inférieure à  $\Delta T$  .
  - toute trajectoire n'est plus optimale après un temps  $4 \Delta T$  .

On a obtenu une analyse complète des trajectoires optimales pour le problème de Heisenberg, et on a retrouvé les résultats de [10].

L'étape d'après est d'attaquer le cas générique d'une distribution de contact en dimension 3.

Tout d'abord, on a du trouver une *forme normale* pour un système de ce type; pour cela, on a étudié toutes les symétries du problème, et on a obtenu que, génériquement, les deux champs de vecteurs  $f, g$  peuvent s'écrire sous la forme

$$f(\gamma) = \begin{pmatrix} 1 + \beta y^2 \\ -\beta xy \\ -\left(\frac{1+\gamma}{2}\right)y \end{pmatrix} \quad g(\gamma) = \begin{pmatrix} -\beta xy \\ 1 + \beta x^2 \\ \left(\frac{1+\gamma}{2}\right)x \end{pmatrix}$$

On considère une extrémale de référence avec les conditions initiales :  $p_0 = 1, |q_0| < 1$  et  $r_0 > 0$ .

Il est facile de voir que c'est un extrémal de Pontriaguin.

Si la succession des contrôles est  $\hat{u} = \{(1, 0); (0, 1); (-1, 0); (0, -1)\}$  alors on prend :

$$h(\gamma) = \hat{u} \cdot (f(\gamma); g(\gamma)).$$

$$H(l) = \hat{u} \cdot (F(l); G(l)).$$

On appliquant le principe de maximum de Pontriaguin on constate que ce problème n'admet pas d'extrémales anormales. On calcule les temps de coupures et les temps conjugués.

Notre travail porte sur les métriques sous-Finslerienne issue de système de contact en dimension 3 et pour cela on a calculé la forme normale pour les distributions de type (2, 3) en dimension 3 associée au problème du temps minimum:

$$f(\gamma) = \begin{pmatrix} 1 + \beta y^2 \\ -\beta xy \\ -\left(\frac{1+\gamma}{2}\right)y \end{pmatrix} \quad g(\gamma) = \begin{pmatrix} -\beta xy \\ 1 + \beta x^2 \\ \left(\frac{1+\gamma}{2}\right)x \end{pmatrix}$$

Où  $\beta$  et  $\gamma$  sont des fonctions lisses qui satisfont les contraintes :  $\beta(0, 0, z) \neq 0$  ;

$$y(0, 0, z) = \frac{\partial y}{\partial x}(0, 0, z) = \frac{\partial y}{\partial y}(0, 0, z) = 0.$$

En particulier, le système de Heisenberg correspond au cas où  $\beta$  et  $\gamma$  sont identiquement nulles.

La résolution générale du cas générique est impossible: pour cela, il faudrait résoudre le problème pour tout choix possible des fonctions  $\beta$  et  $\gamma$ . Par contre, si on s'intéresse aux sphères de petit rayon, on peut conduire une analyse du cas générique en le traitant comme une perturbation du système nilpotent. Pour cela, on va développer les fonctions  $\beta$  et  $\gamma$  en fonction des coordonnées  $(x, y, z)$ . En particulier :

$$\beta = \beta_0 + \beta_1 + \dots$$

$$\gamma = \gamma_2 + \gamma_3 + \dots$$

pour certaines constantes  $\beta_0, \beta_1, \gamma_3, \dots$

Les résultats obtenus sont les suivants :

- comme dans le cas précédent, les contrôles optimaux appartiennent toujours au bord de l'ensemble  $|u_1| + |u_2| \leq 1$ , en particulier  $|u_1| + |u_2| = 1$ .
- pour les arcs bang, les suites possibles de contrôles sont  $\{\dots; (0, -1); (1, 0); (0, 1); (-1, 0); (0, -1); (1, 0); \dots\}$  ou  $\{\dots; (0, 1); (1, 0); (0, -1); (-1, 0); (0, 1); (1, 0) \dots\}$ .
- Les longueurs des arcs bang sont a priori différentes. En particulier, on a obtenu un développement des temps de switch en fonction du rayon de la sphère;
- toute trajectoire n'est plus optimale après le cinquième switch.
- Si  $d_{11} > \frac{1}{2}\beta_0$ , alors les trajectoires sont *localement* optimales jusqu'au cinquième switch. Si par contre,  $d_{11} < \frac{1}{2}\beta_0$  les trajectoires perdent l'optimalité au quatrième point de commutation. Si  $d_{11} = \frac{1}{2}\beta_0$ , une analyse plus approfondie est requise.

#### 4. Perspectives:

On doit trouver les lieux de coupure et analyser le cas où  $d_{11} = \frac{1}{2}\beta_0$  puis dessiner la sphère.

#### Bibliographie :

- [1] A. A. Agrachev, U. Boscain, D. Barilari Introduction to Riemannian and Sub-Riemannian geometry, <https://webusers.imj-prg.fr/~davide.barilari/Notes.php>
- [2] A. A. Agrachev, Yu. Sachkov, Control Theory from Geometric Viewpoint, Springer-Verlag, 2004
- [3] F. Jean, Control of Nonholonomic Systems: from Sub-Riemannian Geometry to Motion, Springer-Verlag, 2014 Planning,
- [4] J.P. Gauthier, V. Zakalyukin, [On the Codimension One Motion Planning Problem](#), Journal of Dynamical and Control Systems, Vol 11, N°1, pp 73-89, 2005.
- [5] J.P. Gauthier et al. [Anthropomorphic image reconstruction via hypoelliptic diffusion](#), SIAM Journal on Control and Optimization 50, pp. 1309-1336, 2012.
- [6] U. Boscain, R. Chertovskih, J.P. Gauthier, A. Remizov, [Hypoelliptic Diffusion and Human Vision: a Semi-Discrete New Twist on the Petiot Theory](#), SIAM J. Imaging Sci., 7(2), 669–695.
- [7] Berret, B., Darlot, C., Jean, F., Pozzo, T., Papaxanthis, C., Gauthier, J.-P., 2008. The inactivation principle: Mathematical solutions minimizing the absolute work and biological implications for the planning of arm movements. PLoS Comput. Biol. 4 (10).
- [8] Boizot, N., Oukacha, O., 2016. Consumption minimisation for an academic vehicle, hal-01384651.

- [9] Chen, Z., Caillau, J.-B., Chitour, Y., 2016. L1 minimization for mechanical systems. *SIAM J. Control. Optim* 54, 1245–1265.
- [5] L. Poggiolini and G. Stefani. State-local optimality of a bang-bang trajectory: a Hamiltonian approach. *System and Control Letters*, 53, 2004.
- [10] D. Barilari, U. Boscain, E. Le Donne, M. Sigalotti, Sub-Finsler structures from the time-optimal control viewpoint for some nilpotent distributions. To appear on *Journal of Dynamical and Control Systems*, 2015.



---

# Vers un système de tracking vidéo de cibles mobiles embarqué sur hélicoptère couplé au système de pilote automatique pour l'assistance active aux missions Search And Rescue (SAR)

Détection d'ellipses en environnement bruité

**Pierre Zoppitelli**

**Directeurs de thèse : Jean Sequeira, Sébastien Mavromatis**

**Encadrant entreprise : Nicolas Bélanger**

***Collaboration : Airbus Helicopters, LSIS***

---

*RÉSUMÉ. Dans le cadre de l'activité d'imagerie à Airbus Helicopters le problème de la détection d'hélicoptère s'est posé. Dans ce cadre, avoir une détection robuste d'ellipse plate serait un atout majeur. Cependant les algorithmes créés par le passé ne s'intéressent que rarement aux détections d'ellipses dans le cadre particulier des ellipses très aplaties. Nous proposons ici un algorithme créé spécifiquement pour répondre aux problématiques spécifiques à la détection d'hélicoptère et nous montrons quelques résultats.*

*ABSTRACT. The detection of helipad has become a major interest in the field of image analysis at Airbus Helicopters. In this context, developing an algorithm capable of detecting very flat ellipses would be a considerable asset. However the detection of very flat ellipses has not been much explored in the past. Here we propose an algorithm that was specifically designed to tackle the specific problems relative to the detection of helipads and we show some results.*

*MOTS-CLÉS : hélicoptère, ellipses plates, transformée de Hough, reconnaissance de pattern*

*KEYWORDS: helipad, flat ellipses, Hough transform, pattern recognition*

---

e-mail : pierre.zoppitelli@lsis.org



## 1. SUJET DE THESE

La sécurité est un des enjeux majeurs d'AIRBUS HELICOPTERS, pour l'améliorer deux voies peuvent être explorées. La première consiste à améliorer la robustesse des équipements existant pour diminuer le nombre de pannes et changements de pièces de l'appareil. La deuxième consiste à augmenter les outils d'aides au pilotage afin de réduire la charge de travail du pilote et l'alerter en cas de danger. Dans cette deuxième optique il est nécessaire d'avoir un système capable, à l'aide de senseurs et calculateurs dédiés, d'évaluer la situation de l'appareil et d'apporter en temps réels les réponses appropriées à chaque type de mission et de danger.

Dans ce contexte, un outil capable d'interpréter un flux vidéo, de remonter l'information au pilote et d'anticiper les événements à venir serait un atout différenciateur majeur pour les années à venir. Un tel outil pourrait être appliqué à de nombreuses situations difficiles telles que les missions de recherche et sauvetage (SAR), les appontages sur Cargo ou plateformes offshore et la maintenance des stations en mer. Pour le cadre spécifique de l'aide à l'atterrissage sur plateforme offshore, un tel système doit être capable de détecter une zone de poser de très loin et, par l'intermédiaire du pilote automatique, proposer une trajectoire d'approche vers cette zone de poser.

Les hélipads dans le monde offshore doivent respecter un certain ensemble de consignes décrites dans le document cap437. Ces consignes donnent les taille, couleurs et formes des symboles utilisés. Sur la zone de poser, l'élément le plus reconnaissable pour l'oeil humain est le cercle jaune tandis que le H est visible bien plus tard. Pour ces raisons nous avons décidé de nous focaliser sur la détection d'ellipse très aplatie (à cause de l'effet de perspective).

## 2. ETAT DE L'ART SUR LA DETECTION D'ELLIPSE

Les propriétés intrinsèques aux ellipses ont été étudiées depuis la Grèce antique et de nombreux résultats intéressants ont été obtenus dans la période du 17ème au 19ème siècle en particulier dans le cadre de la géométrie projective utilisant les nombres complexes. Durant les trente dernières années, de nombreux papiers sur la détection d'ellipse ont été publiés, ce sujet étant particulièrement crucial le domaine reste encore très actif de nos jours. Parmi les méthodes les plus récentes et les plus significatives on peut distinguer trois classes d'approches : celles faisant évoluer une ellipse sous contraintes dans l'image, celles utilisant la transformée de Hough et celles reliant des contours et bouts d'ellipses.

Pour utiliser une transformée de Hough, il faut pouvoir décrire et gérer un espace homogène à 5 dimensions (car une ellipse a 5 paramètres) et ce n'est pas une tâche aisée. Une solution alternative a été proposée en 2005 par Basca et al [Bas05]. La méthode similaire aux contours actifs qui consiste à laisser évoluer une ellipse sous contrainte a été améliorée par Prasad et al en 2013 [Pra13]. Enfin d'autres travaux proposent une approche qui relie des contours jusqu'à produire une ellipse tels que ceux décrits dans [Lib07].

#### Détection d'ellipses en environnement bruité

Fornaciari et al donnent une évaluation de chacune de ces approches et de quelques autres comparables dans [For14]. Dans ce document, ils proposent un nouvel algorithme qui améliore la phase de création des composantes connexes en utilisant un Espace de Hough dans lequel ils font une séparation des paramètres (pour se passer d'un espace de Hough de dimension 5).

D'autres travaux très récents ont été publiés (ce qui prouve encore l'importance d'apporter une solution efficace à ce problème) dont ceux réalisés par Lu [Lu15] qui utilisent des courbes polynomiales avec des tests de vraisemblance pour stabiliser leur évolution.

Dans la fin des années 2016, Jia et al proposent une approche originale [Jia16] fondée sur la méthode de création des contours avec une amélioration majeure utilisant une propriété très puissante des espaces projectifs. Dans leur papier, ils évaluent les performances de leur algorithme avec ceux mentionnés précédemment et obtiennent les meilleurs résultats. Nous allons donner un bref descriptif de cet algorithme dans les prochaines lignes.

Jia et al utilisent une propriété des espaces projectifs, cette propriété est une généralisation de la conservation du birapport après projection centrale mais appliquée à un polygone (au lieu d'un segment pour le birapport). Dans le cadre traité l'invariant est nommé « Nombre Caractéristique » et vaut 1 pour un polygone de 6 points lorsque les 6 points appartiennent à une même conique. De cette manière il est très facile et très rapide de savoir si 6 points appartiennent à une même ellipse. La première étape de l'algorithme consiste à trouver les contours de l'image (pour cela ils utilisent un filtre de Canny [Can86] et un encodage de Freeman) et ils assemblent les contours appartenant à une même ellipse (en utilisant la propriété sur les espaces projectifs). Bien que l'algorithme présente des résultats très probants comparés aux autres algorithmes, il y a des situations pour lesquelles l'algorithme échoue quasi-systématiquement et ces situations peuvent arriver dans certains contextes. Nous avons identifié trois types de situations pour lesquelles l'algorithme ne donne pas de résultats : lorsque les points de l'ellipses sont peu nombreux et dispersés et ne forment donc pas de contours continus (lorsque la structure elliptique est cachée par un filet), lorsqu'une grande partie de l'ellipse est masquée par un élément du décor (comme une grue), ou enfin lorsque l'ellipse est très plate (cas typique lorsque l'hélicoptère est vu de loin).

L'algorithme que nous proposons prend en charge ces situations et permet de trouver des ellipses même dans les conditions très difficiles. Ces conditions arrivent couramment dans le contexte de la détection d'hélicoptère et de ce fait invalident les autres approches.

### 3. DESCRIPTION DE L'ALGORITHME

Les deux images ci-dessous illustrent des situations pour lesquelles l'algorithme mentionné précédemment échoue souvent.

Détection d'ellipses en environnement bruité



Fig 1 : Cas d'un hélipad vu de très loin.



Fig 2 : Cas d'un hélipad recouvert par un filet

La raison principale à cet échec est la nécessité d'avoir des contours de longueur minimale, or cette hypothèse n'est pas validée dans ces images. Pour surmonter cette difficulté, nous avons décidé de ne pas utiliser de contours (du moins en tant qu'ensemble de points connectés) mais de fonder notre algorithme sur une propriété locale de l'ellipse intégrée dans un schéma global. Nous allons décrire dans la section suivante cette propriété.

### **3.1. UNE PROPRIETE DES TANGENTES DE L ELLIPSE.**

Soient  $P_1$  et  $P_2$  deux points d'une ellipse et  $T_1$  et  $T_2$  leurs tangentes respectives. Soient  $I_{12}$  le milieu de  $[P_1, P_2]$  et  $J_{12}$  l'intersection des tangentes  $T_1$  et  $T_2$  alors la droite  $D_{12}$  passant par  $I_{12}$  et  $J_{12}$  passe aussi par le centre de l'ellipse.

Détection d'ellipses en environnement bruité

Cette propriété permet de passer d'un point à l'autre sans se préoccuper de la connectivité des contours

### 3.2. DEFINITION DES PRIMITIVES

Nous devons donc définir des primitives qui nous permettent d'utiliser cette propriété caractéristique des ellipses. Une telle primitive est constituée d'un point et d'un vecteur tangent. En pratique nous préférons utiliser une représentation redondante avec un point (de coordonnées  $x$  et  $y$ ) et les coefficients normalisés de l'équation de la tangente ( $ax+by+c=0$ ).  $P=(x,y,a,b,c)$ .

$(b,-a)$  est un vecteur tangent normalisé mais  $(-b,a)$  est un autre tout aussi valide : le choix du signe donne l'orientation de la courbure. La valeur de  $c$  est obtenue en utilisant l'équation de la droite ( $c=-ax-by$ ), on peut choisir de la stocker ou de la recalculer à chaque utilisation, nous avons préféré la stocker.

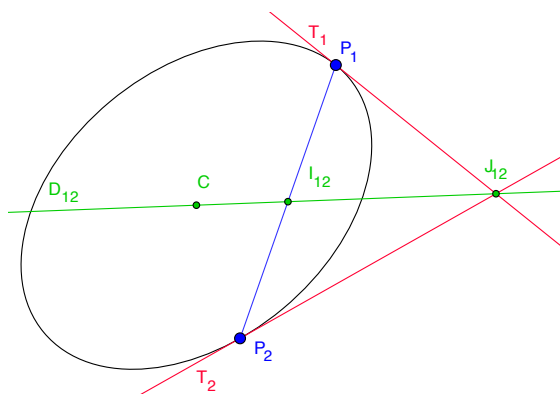


Figure 3: C, I12 et J12 sont sur la même ligne.

### 3.3. LE PRINCIPE DE L'ALGORITHME

L'idée fondamentale de notre approche est la transposition d'un raisonnement classique en mathématiques. Nous exprimons dans un premier temps un ensemble de conditions nécessaires qui réduit considérablement le nombre de solutions potentielles et, dans un deuxième temps, on recherche dans cet ensemble de solutions potentielles s'il existe des solutions effectives.

Une ellipse peut être définie par son centre (deux paramètres) et trois autres paramètres (son orientation et la taille de ses deux axes). Notre méthode se déroule en trois étapes :

On cherche l'emplacement approximatif du centre d'une ellipse potentielle (si une ellipse est dessinée son centre est forcément celui là).

Lorsqu'un centre est obtenu, nous recherchons la position approximative d'une ellipse dite de « référence ».

#### Détection d'ellipses en environnement bruité

Dans le voisinage de l'ellipse de référence une recherche stricte et approfondie est menée pour déterminer les paramètres précis de l'ellipse si elle existe.

Ces conditions peuvent être dérivées pour détecter plusieurs centres (par exemple plusieurs panneaux de signalisation) et plusieurs ellipses par centres (contours internes et externes de la couronne rouge d'un panneau de signalisation d'interdiction).

A chacune de ces étapes, et particulièrement pour obtenir le centre d'une ellipse potentielle, nous utilisons des processus intégrés qui éliminent progressivement les mauvaises solutions et font converger le centre vers une position fiable et précise.

### 3.4. *HOMOGENEISATION DU PROCESSUS*

De nombreux paramètres doivent être ajustés en fonction des tailles des ellipses que l'on doit détecter et il peut aussi bien y avoir des petites ellipses que des grandes. L'ajustement de ces paramètres est une tâche très compliquée puisqu'ils sont corrélés les uns aux autres.

Ainsi lorsque nous cherchons à détecter des ellipses de tailles variables au sein d'images de tailles variables, il est bien plus difficile de changer l'ensemble des paramètres de l'algorithme que de définir un ensemble de paramètres qui donnent de très bons résultats pour certaines tailles d'ellipses et de fenêtres, et, de se débrouiller pour toujours se ramener dans cette situation idéale. En pratique nous cherchons des ellipses dont le diamètre varie entre la moitié et un sixième de la taille de la fenêtre d'étude : on a donc un rapport entre la taille minimale et la taille maximale de l'ellipse qui vaut 1/3.

Nous définissons une stratégie pour explorer l'image avec un ensemble d'imagettes et nous appliquons le processus sur les imagettes après les avoir préalablement agrandies ou réduites à la taille optimale. Par exemple, nous pouvons rechercher les grandes ellipses en prenant l'image entière réduite à la taille idéale ; puis découper l'image en quatre imagettes pour détecter des ellipses plus petites (découpage de l'image en deux dans le sens horizontal et vertical) ; et ensuite découper l'image en neuf imagettes pour trouver des ellipses encore plus petites (découpage en trois dans chaque directions), et ainsi de suite... Ou bien, nous pouvons l'intégrer dans une approche globale qui détermine au préalable quelles sont les parties pertinentes de l'image et réalise un découpage intelligent de l'image.

### 3.5. *CARACTERISATION DES PRIMITIVES*

Nous pouvons travailler sur des images couleurs ou bien en niveau de gris ou encore sur des images binaires (qui peuvent donc être lacunaires et/ou bruitées).

Pour le cas traité, nous travaillons sur des images couleurs que nous transformons en image en niveaux de gris (en utilisant une combinaison linéaire des valeurs R G et B). Ensuite, nous appliquons un filtre de Nagao pour enlever une partie du bruit (l'avantage de ce filtre est qu'il remplace des « valeurs à priori fausses » par les valeurs prédominantes dans un voisinage, il permet aussi de réduire l'influence des grilles et des filets). Enfin, nous utilisons un filtre passe haut pour faire ressortir les contours. Un seuil est alors appliqué pour créer une image binaire dont les pixels égaux à « 1 » sont les contours.

#### Détection d'ellipses en environnement bruité

L'étape suivante consiste à extraire les points pertinents de l'image binaire : les points qui supportent une primitive, c'est à dire ceux dont les points dans un voisinage forment grossièrement une ligne (et qui pourraient être considérés comme une partie locale d'une courbe).

Nous définissons un voisinage et un ensemble de masques, chacun associé à une orientation. Pour chacun des points de l'image binaire, nous comptons le nombre de points recouvert par chacun des masques et nous gardons le masque qui donne le nombre maximum de points. Si le maximum est supérieur à un certain seuil la primitive est gardée sinon elle est abandonnée. Nous obtenons alors un sous ensemble des points de l'image binaire initiale.

Pour chacun de ces points, nous calculons un gradient à l'emplacement correspondant dans l'image en niveau de gris en appliquant un flou gaussien et un opérateur de Sobel. Dans le cas où le traitement est appliqué directement sur une image en niveau de gris, on obtient une estimation du vecteur tangente en utilisant une analyse en composantes principales (ACP) sur les points couverts par le masque donnant le maximum à l'étape précédente.

Nous trions la liste des points par valeur décroissante de la valeur de leur gradient ; ensuite, nous parcourons la liste triée en ne gardant que les points dont la distance aux points précédents est supérieure à une valeur minimum :  $d_{min}$ . Nous obtenons alors un ensemble de primitives « point + tangente » dans lequel deux éléments ne sont jamais plus proches de  $d_{min}$ . Puis nous calculons l'équation normalisée de la tangente à partir de la position du point et du gradient associé.

### 3.6. LOCALISATION DU CENTRE POTENTIEL DE L'ELLIPSE

La première étape consiste à déterminer où se trouve le centre de l'ellipse de référence, et nous le faisons en appliquant une propriété des tangentes (mentionnées précédemment) aux primitives obtenues auparavant.

Supposons qu'une ellipse  $E$  soit associée à un sous ensemble  $PE$  de  $P$ . Alors tous les triplets de primitives  $P_i P_j P_k$  de  $PE$  donnent un triplet de droites ( $D_{ij} D_{jk} D_{ki}$ ) qui s'intersectent au centre  $C$  de  $E$ .

En pratique, puisque les primitives ne peuvent pas être calculées avec précision les droites  $D_{ij} D_{jk}$  et  $D_{ki}$  ne se coupent pas parfaitement en un unique point mais produisent un petit triangle  $T_{ijk}$  qui recouvre l'endroit du centre.

Nous utilisons une approche inspirée des transformées de Hough pour caractériser l'existence d'une ellipse et d'évaluer de manière approximative l'emplacement de son centre. Nous considérons un espace de Hough à une dimension plus petite ( $30 \times 20$  par exemple) : nous tirons un ensemble de triplets (pas tous les triplets, uniquement ceux qui satisfont un certain ensemble de règles dont la proximité), lorsque le triangle est suffisamment petit (ce qui arrive lorsque les trois primitives sont sur une même ellipse), nous évaluons le centre dans l'espace de Hough et incrémentons la cellule correspondante. Si un maximum significatif apparaît dans l'espace de Hough, cela signifie qu'il y a une probabilité élevée de présence d'ellipse dans l'imagette, nous obtenons son centre  $C$  et nous caractérisons  $PE$  en gardant les primitives qui ont voté pour  $C$ .

Détection d'ellipses en environnement bruité

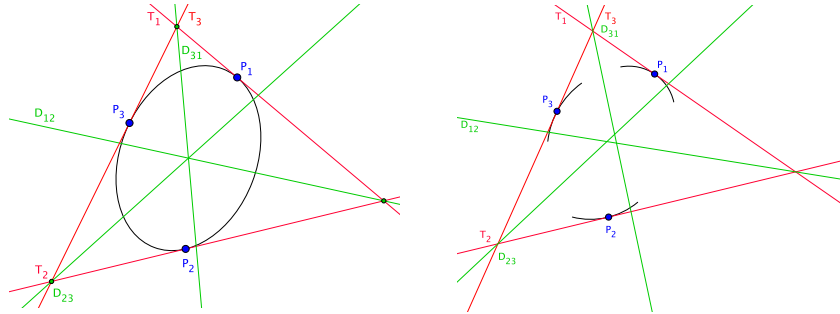


Fig 4 : A gauche : cas idéal d'intersection des tangentes. A droite : cas réel, les droites forment un triangle de petite taille.

### 3.7. CARACTERISATION DE L'ELLIPSE DE REFERENCE

La transformée de Hough nous a donné un maximum dans l'espace d'accumulation, nous n'utilisons pas directement le centre de la cellule ayant atteint le maximum, mais nous calculons le barycentre avec les cellules voisines. Nous obtenons alors un sous ensemble (ou plusieurs) des primitives qui ont participé à la caractérisation du centre (à l'aide du graphe de cohérence et avec l'aide des composantes connexes spatiales). Après avoir éliminé les points aberrants et s'être occupé de la pertinence des arcs d'ellipses restant, nous pouvons caractériser une « ellipse de référence » située proche de l'information importante.

Cette ellipse de référence définit la zone sur laquelle nous allons performer une recherche spécifique et précise d'une ellipse (ou plusieurs) située dans le voisinage. Cette zone est générée par la dilatation de l'ellipse de référence, et s'il n'y a pas de changement de topologie (c'est à dire si nous obtenons une transformation homotopique), l'ellipse de référence est son squelette et est utilisée pour cibler les recherches dans la zone.

## 4. RESULTATS

L'algorithme décrit dans cette communication propose une solution à la détection d'ellipse dans le cadre des ellipses en pointillées, partiellement visible et/ou très plates, des situations qui sont très difficiles à résoudre avec les algorithmes classiques. Ces situations sont des cas très fréquents lorsque l'on cherche à détecter le cercle d'un hélicoptère.

Détection d'ellipses en environnement bruité



Fig 5 : quelques exemples de détection.



## 5. BIBLIOGRAPHIE

- [Bas05] C. A. Basca, M. Talos and R. Brad, « Randomized Hough Transform for Ellipse Detection with Result Clustering », *EUROCON 2005 - The International Conference on "Computer as a Tool", Belgrade, 2005*, pp. 1397-1400.
- [Can86] J. Canny, « A Computational Approach to Edge Detection », in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-8-6, pp. 679-698, 1986.
- [Dud72] Duda, Richard O. and Hart, Peter E., « Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures », in *Commun. ACM*, vol. 15-1, pp. 11-15, 1972.
- [For14] Michele Fornaciari, Andrea Prati, Rita Cucchiara, « A fast and effective ellipse detector for embedded vision applications », *Pattern Recognition, Volume 47, Issue 11, November 2014, Pages 3693-3708, ISSN 0031-3203*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.patcog.2014.05.012>.
- [Jia16] Qi Jia and Xin Fan and Zhongxuan Luo and Lianbo Song and Tie Qiu, « A Fast Ellipse Detector Using Projective Invariant Pruning », in *CoRR*, vol. abs/1608.07470, 2016.
- [Lib07] Libuda Lars and Grothues Ingo and Kraiss Karl-Friedrich, « Ellipse Detection in Digital Image Data Using Geometric Features », in *Advances in Computer Graphics and Computer Vision: International Conferences VISAPP and GRAPP 2006, bal, Portugal, February 25-28, 2006*.
- [Lu15] T. Lu, W. Hu, C. Liu and D. Yang, « Effective ellipse detector with polygonal curve and likelihood ratio test », in *IET Computer Vision*, vol. 9, no. 6, pp. 914-925, 12 2015.
- [Pra13] Dilip K. Prasad, Maylor K.H. Leung, Chai Quek, « ElliFit: An unconstrained, non-iterative, least squares based geometric Ellipse Fitting method », *Pattern Recognition, Volume 46, Issue 5, May 2013, Pages 1449-1465, ISSN 0031-3203*,

# Comparative Analysis and Optimization of PhotoVoltaic/Thermal Structure and Materials

M. Ben Abdellatif

*Laboratoire des sciences d'information et des systèmes,  
Aix Marseille Université, CNRS, ENSAM, Université de Toulon,  
LSIS UMR 7296, 13397, Marseille France. (E-mail: mohamed.benabdellatif@lsis.org)  
Av. Escadrille Nordie Niémen 13397 MARSEILLE CEDEX 20*

## Abstract

A dynamic thermal model is developed for a Photovoltaic and thermal panel in which solar incident radiation, ambient temperature, wind velocity, and ohmic losses were taken into account. This model allows to vary key parameters of the structure design and to study their effect on the system thermal and electrical performances. The main goal is to find the good combination of materials that ensures a maximum production of electricity and hot water with reduced cost.

*Keywords:* PV/T, Dynamic model, Solar domestic hot water system (SDHWS), performances.

## Nomenclature

$m_x$	mass.
$c_x$	Specific heat.
$A_x$	surface.
$T_c$	cells temperature.
$T_p$	thermal plate temperature.
$T_f$	coolant temperature.
$T_i$	insulation temperature.
$h_x$	heat transfer coefficient.
$\lambda_x$	thermal conductivity.
$e_x$	thickness.
$\varepsilon_x$	emissivity.
$\sigma$	Stephan Boltzmann constant.
$I_p$	light-induced current.
$I_{sc}$	short circuit current.
$V_o$	open circuit voltage.
$I_{ox}$	reverse saturation current.
$q$	electric charge.
$R_s$	series resistance.
$R_{sh}$	shunt resistance.
$K$	Boltzmann constant.
$N_s, N_p$	number of cells in series, parallel.
$G$	solar irradiance.

## 1) Introduction

Only a small fraction from the absorbed energy by PV cells is converted to electricity, one part of the rest is converted to heat. Due to this heat, the operating temperature of the cells rises and affects on the electrical performances. The idea is to extract this heat and use it for low temperature application: like domestic hot water, space heating by combining the PV cells with a thermal collector. Various studies have been conducted previously to investigate the performances of PV/T hybrid systems and the influence of many parameters on the electrical and thermal efficiency. [Floschuetz, 1979][1] was among the first pioneers. He proposed an analytical model for PV/T by applying a simple modification for the Hottel-Whiller model. In most of these works, the developed models were steady state and quasi-dynamic models [Floschuetz, 1979][1], [Sandneset al, 2002][2], [Tiwari, 2006][3], and [Zakharachenko, 2004][4]. The steady state and quasi dynamic models are adequate for daily and hourly weather data. Under rapid fluctuation of solar irradiance, there is a large deviation between the predicted measures and real ones, also the thermal performances are overestimated [L.Tagliafico et al, 2014][5]. [TT Chow, 2003][6] showed that the PVT system is inherently dynamic and its time constant was found in the order of few minutes. He developed a

dynamic thermal model based on the control-volume finite-difference approach. [Zondag et al, 2002][7] compared the different models: 3 dimension dynamic model, 3D 2D and 1D steady state models. The 1D performed almost as good as the 3D dynamic. The 3D dynamic model was extensive; it needed 2.5 hour simulation time for 1 hour real time.

In this paper, a 1D dynamic thermal model is developed. The ohmic losses and the effect of many parameters were taken into account. An average temperature for each layer was considered to study the heat transfer between different layers.

## 2) Thermal and electrical model

### a) Dynamic model

The Studied panel is the PV/T Wave from proposed by Dualsun [9]. This hybrid panel is unglazed and it has an area of 1.604 m<sup>2</sup> [9]. The constituent layers of the PV/T are shown in figure.1. are single crystalline cells encapsulated in EVA (Ethelyn-Vinyl-Acetate) and TPT (Tedlar-polyster-Tedlar). This encapsulation ensures protection for cells and electrical insulation with other constituent. The thermal plate made of aluminum is totally covered by cells. A serpentine is welded in the back surface of plate and arranged with equal spacing between the tubes. Insulation is used to limit the back thermal losses.



Figure 1: Different layers in a PV/T.

The dynamic model will allow us to evaluate the electrical and thermal produced energy, the instantaneous thermal and electrical efficiency of the system. The following Assumptions were made to develop the model:

- i) Thermal and optical proprieties of all materials are constant.
- ii) The edges are well insulated; thus the edge losses are negligible.

- iii) The temperature gradient is not considered.

The dynamic model was developed considering the energy balance for each layer that constitutes the panel as shown in the figure 1.

For the cells:

$$m_c c_c \frac{dT_c}{dt} = \alpha_c G A_c - h_{cp} A_c (T_c - T_p) - (h_{ca} + h_{car}) A_c (T_c - T_a)$$

$$h_{cp} = \frac{\lambda_c}{e_c} \quad \text{conduction heat transfer coefficient}$$

between cells and the plate.

$h_{ca} = 5.67 + 3.8 V$  convection losses with the ambient.

$h_{car} = \epsilon_c \sigma (T_c^2 + T_a^2) (T_c + T_a)$  Radiation heat losses coefficient.

For the absorber plate:

$$m_p c_p \frac{dT_p}{dt} = h_{cp} A_c (T_c - T_p) - h_{pf} A_f (T_p - T_f) - A_i h_{ip} (T_p - T_a)$$

$$h_{pf} = \left[ \frac{e_p}{\lambda_p} + \frac{D_i}{N_u k_w} \right]^{-1}$$

$$h_{pf} = \left[ \frac{1}{\frac{\lambda_p}{e_p} + \left( \frac{1}{hf} \right) + \left( \frac{\pi D_i L}{C_b} \right)} \right]^{-1} \quad \text{convective heat}$$

transfer coefficient between the plate and the fluid.

$h_{ip} = \frac{\lambda_i}{e_i}$  conduction heat transfer coefficient between the plate and the insulation layer.

For the coolant fluid:

$$m_f c_f \frac{dT_f}{dt} = h_{pf} A_f (T_p - T_f) - \dot{m}_f c_f (T_{f_{out}} - T_{f_{in}}) \quad (3)$$

$h_{pf} = i$  heat transfer coefficient between the thermal plate and the coolant.

For the Insulation:

$$m_i c_i \frac{dT_i}{dt} = h_{pi} A_i (T_p - T_i) - (h_{ia} + h_{iar}) A_{ia} (T_i - T_a) \quad (4)$$

$$h_{pi} = \left[ \frac{e_p}{\lambda_p} + \frac{e_i}{\lambda_i} \right]^{-1} \quad \text{heat transfer coefficient between}$$

the thermal plate and the insulation.

For the electrical model of the PV/T, the two diodes equivalent circuit for PV cell was used.

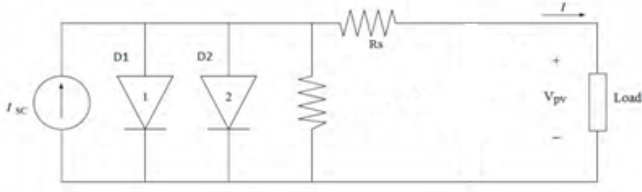


Figure 2: equivalent circuit for a PV cell.

The electrical model of PV cell can be expressed by the voltage-current relation deduced from the equivalent circuit.

$$I = I_p - I_{d1} - I_{d2} - I_{sh} \quad (5)$$

With,

$$I_{d1} = I_{o1} \left( e^{\left( \frac{q(V+R_s I)}{K T_c} \right)} - 1 \right) \quad (6)$$

$$I_{d2} = I_{o2} \left( e^{\left( \frac{q(V+R_s I)}{2 K T_c} \right)} - 1 \right) \quad (7)$$

And ,

$$I_{sh} = \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (8)$$

The parameters  $I_p$ ,  $R_s$ ,  $R_{sh}$ ,  $I_{o1}$ , and  $I_{o2}$  of this model are functions of solar incident radiation, operating temperature, and their reference value as shown in the following equations,

$$I_{o1} = I_{oref} \left( \frac{T_c}{T_{ref}} \right)^3 \left( e^{\left( \frac{q \left( \left( \frac{E_{gref}}{T_{ref}} \right) - \left( \frac{E_g}{T_c} \right) \right)}{K} \right)} \right) \quad (9)$$

$$I_{o2} = I_{oref} \left( \frac{T_c}{T_{ref}} \right)^{\frac{3}{2}} \left( e^{\left( \frac{q \left( \left( \frac{E_{gref}}{T_{ref}} \right) - \left( \frac{E_g}{T_c} \right) \right)}{2 K} \right)} \right) \quad (10)$$

With,

$$I_{oref1} = \frac{I_{cc}}{e^{\frac{qV_0}{K T_{cref}} - 1}} \quad (11)$$

$$I_{oref2} = \frac{I_{cc}}{e^{\frac{qV_0}{2 K T_{cref}} - 1}} \quad (12)$$

$$I_p = I_{ccref} \left( 1 + ki(T_c - T_{ref}) \right) \left( \frac{G}{G_{ref}} \right) \quad (13)$$

The series resistance is considered in this study constant and equal to its reference value. For the shunt resistance

is considered inversely proportional to the absorbed solar radiation,

$$R_{sh} = \frac{G_{ref}}{G} R_{shref} \quad (14)$$

### a) The Model validation

The numerical model was validated against the Data published in the data-sheet of Dualsun [9]. This data-sheet presents a steady state indoor experimental results done by TUV Rheinland lab-Germany under conditions prescribed by EN12975 standards;  $G=850\text{w/m}^2$ ,  $V=1\text{m/s}$ . and  $T_{fin}$  varying from 20 °C to 55°C.

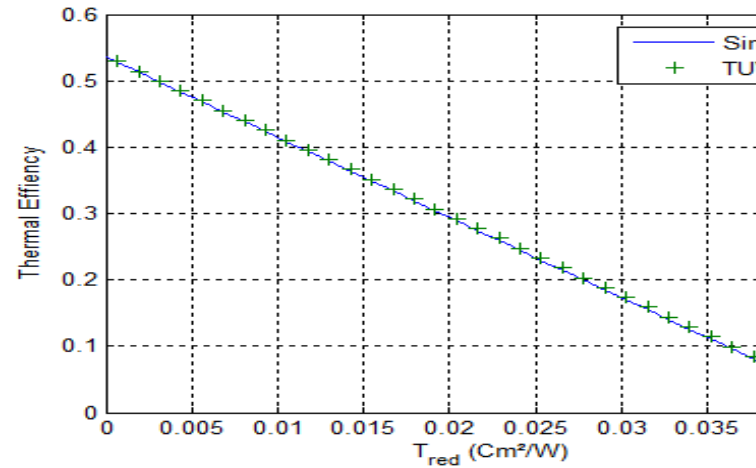


Figure 3: Thermal efficiency for steady state conditions.

The simulation results, using the developed model, showed good agreement with the experimental results given by TUV Rheinland lab as shown in the figure.3.

### 3) Performance evaluation

The electrical efficiency of the PV/T cells is calculated by:

$$\eta_{el} = \frac{V_m I_m}{A_c G} \quad (15)$$

[Zondag, 2002] proposed a temperature dependent expression for the electrical efficiency and so to show that the electrical performances of the cells decreases when the operating temperature increases:

$$\eta_{el} = \eta_o \left( 1 - \beta(T_c - T_{ref}) \right) \quad (16)$$

The thermal efficiency is defined as the ratio of the thermal yield and the total incident energy:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m}c_f(T_{f_{out}} - T_{f_{in}})}{A_p G} \quad (17)$$

The developed model can predict the thermal behavior of the PVT system under various conditions. The main reason for varying the parameters is to obtain an optimal design for the system.

Simulation tests were carried out to compare the thermal behavior of PV/T using different materials for the absorber plate, cells type and with or without a glass under the steady state conditions of  $G=1000W/m^2, T_a=25^\circ C$ , and a flow rate equal to  $0.05Kg/s$ .

The main reason of this study is to find a good combination of materials that ensure the optimal performances and the reduce the price of the actual device. Many studies in the literature led to consider that polymer is one of the most promising material used to reduce the cost and the weight of the device.

We tested at first, under the steady state conditions, the PVT panel with additional glass cover and compare it performances to the Unglazed PVT wave .

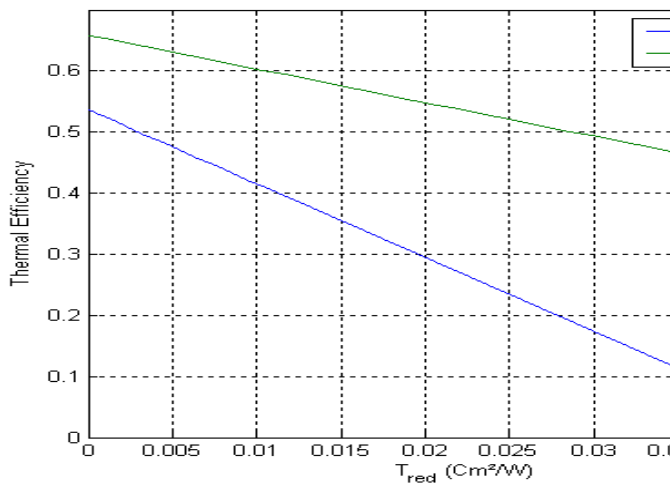


Figure 4: Thermal Efficiency for glazed and Unglazed PV/T.

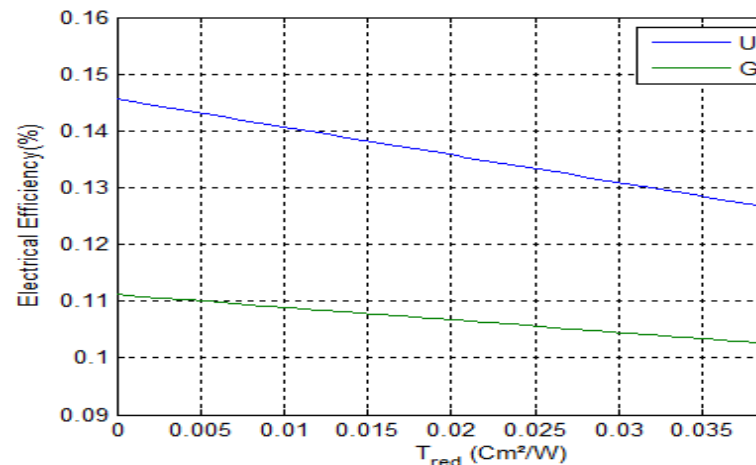


Figure 5: Electrical Efficiency for glazed and Unglazed PV/T.

The glazed PVT presents a remarkably higher thermal efficiency, thus due to the presence of glass layer that limits the convective losses. But the electrical efficiency deteriorates due to the higher operating cells temperature and to the additional optic losses.

A second test was carried out under the steady state conditions to compare performances of unglazed PVT Dualsun using other materials for the thermal plate : (1) Copper, and (2) Polymer. (in the actual design Aluminum was used).

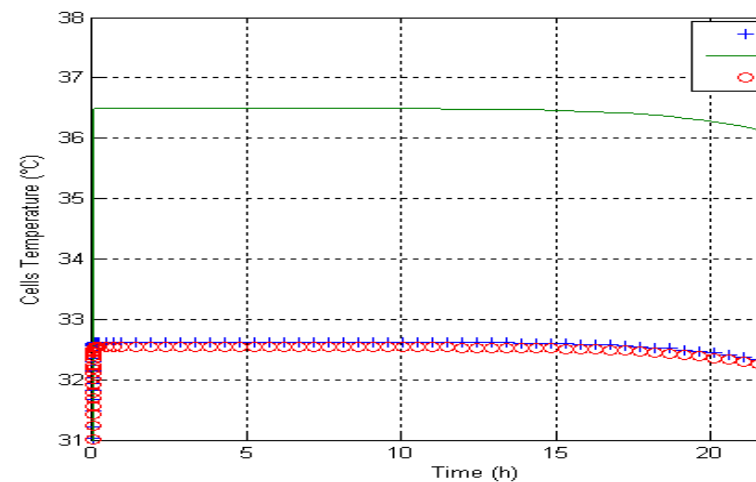


Figure 6: cells temperature for different materials.

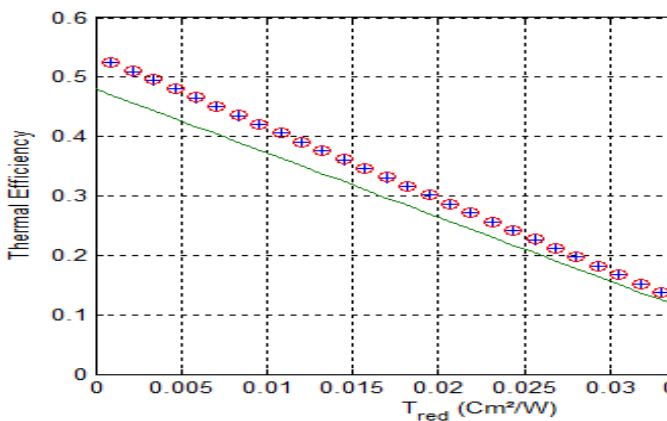


Figure 7: Thermal efficiency for different materials.

As it can be shown in the fig.7 and fig.8, material with higher thermal conductivity (in this case copper and aluminum) can transfer heat easily from the cells to the fluid as a result the thermal efficiency is remarkably higher. Also the cells operating temperature is nearly 4 degrees higher in the case of polymer PPO, and this leads to have the electrical efficiency is slightly lower than copper and aluminum PVT.

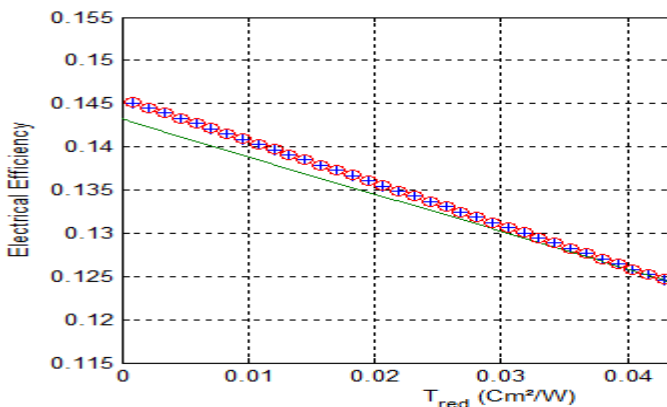


Figure 8: Electrical efficiency for different materials

A third test was carried out to study the cells type effect on system performances. For the actual Dualsun Panel, single crystalline cells are used with  $\eta_0$  slightly higher than 15% but they are more sensible to operating temperature with 0.44% /C. A simulation test was carried out to compare the different kind of thermal plates seen previously combined with both single crystalline cells and thin film cells.

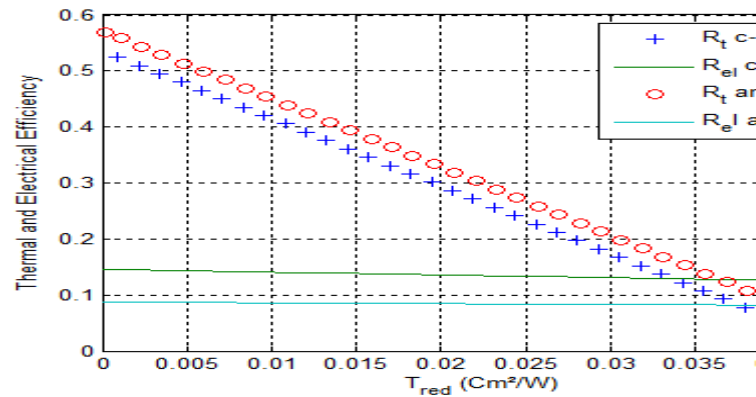


Figure 9: Electrical and thermal efficiency for Aluminum plate.

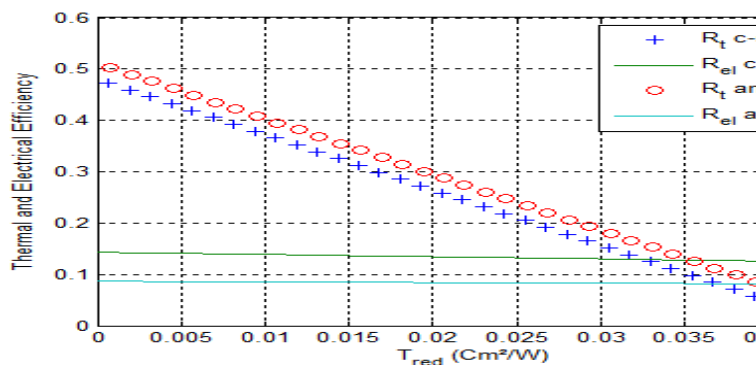


Figure 10: Electrical and thermal efficiency for Polymer plate.

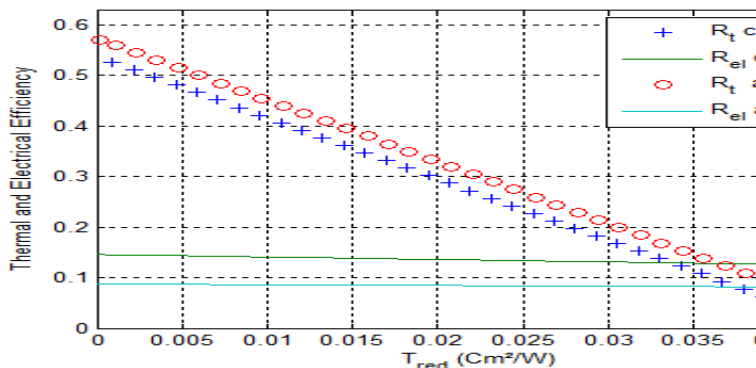


Figure 11: Electrical and thermal efficiency for copper plate.

As shown in figure 9 to 11, the efficiency of the amorphous cells is less sensible to temperature. Their electrical efficiency lower than the silicon cells, meaning less amount of absorbed energy is converted to electricity and so more available energy for heat production. As result thermal efficiency for thin film cells in three cases is higher

It's possible also to notice that in three cases the electrical efficiency for a chosen type of cells is practically the same. The thermal efficiency is slightly lower for the PPO.

### 3) SDHW system integrating PV/T

In this part, we will try to compare the Dualsun PVT with its low cost version using PPO, both integrating a SDHWS. The solar domestic hot water system includes a PV/T collector that generate heat and electricity, a pump to circulate the coolant, a tank for hot water storage, a heat exchanger immersed in the water tank, and finally an auxiliary resistance used to heat up the water when there's no sufficient solar irradiance.

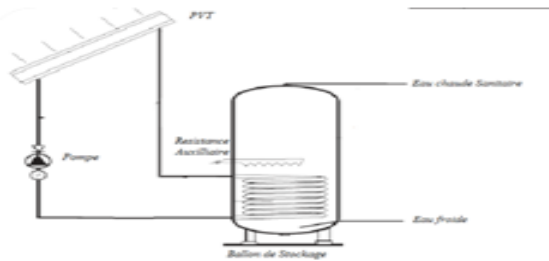


Figure 12: Solar domestic hot water system.

The water tank model:

$$m_s c_s \frac{dT_s}{dt} = \dot{m} c_f \varepsilon (T_{fout} - T_s) + q_{aux} - A_s h_s (T_s - T_a) - i$$

The inlet water temperature for the PV/T collector can be considered the same as the outlet temperature of the heat exchanger:

$$T_{fin} = T_{fout} - \varepsilon (T_{fout} - T_s) \quad (16)$$

The solar irradiance rise from 6am to 6pm, and achieves its maximum between 10am and 14pm. The pump is activated only when outlet temperature of the collector is higher than the water temperature in tank. Else the auxiliary resistance is activated to heat the water. Once the water temperature reaches the desired one, both the pump and the auxiliary heater are turned off. This technique could reduce the electricity consumption for heating by collecting heat from PVT.

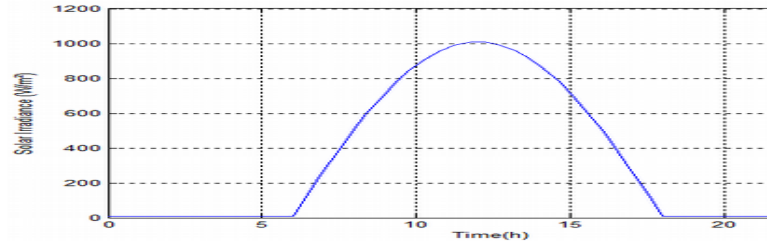


Figure 12: solar irradiance.

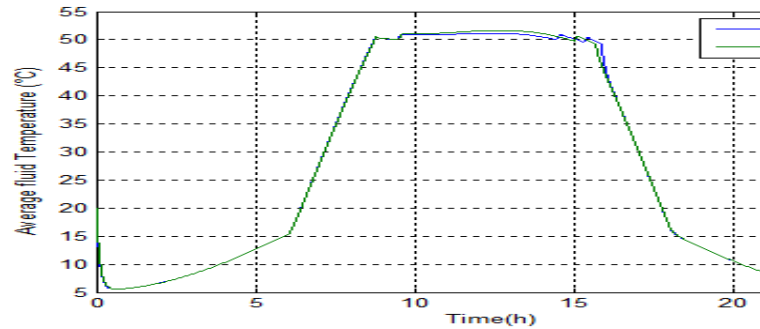


Figure 13: average temperature for cells for PPO and Aluminum.

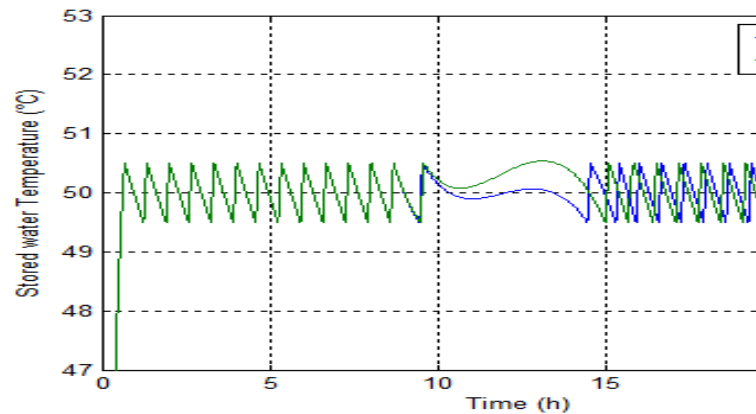


Figure 14: Stored water temperature.

When the solar irradiance is growing, the thermal efficiency of the PVT increases. This is due to the increase of the outlet fluid temperature which reaches its maximum at noon as shown in fig.13. As it can be seen in the previous figures, the outputs of polymer PV/T-SDHWS is as much efficient as the SDHW with the actual commercialized panel.

### 3) Conclusion

Based on the developed numerical model, it was possible to study the effect of different key parameters on the system performance; with or without glass cover, cells type, and material used for thermal plate. The design and the structure of the PVT device depends mainly on the application for which it is intended: hot water is more important or electricity. From the simulation results, it's possible to conclude that Polymer was as much efficient as aluminum and copper. It may be a good substitute for aluminum in the actual commercialized PVT: Reduces the weight of the device, and reduces manufacturing cost. Also, it's more suitable to keep using single crystalline cells because of low operating temperature of cells.

### Acknowledgement

This work is part of the DUALPLAS project supported by the PACA Region and The Dualsun company. The authors would like to acknowledge the University of Aix-Marseille for the institutional support of the SASV research staff of the LSIS and the BPI national funding of the project.

### REFERENCES:

- [1] L.W.Florschuetz “Extension of the Hottel-Whillier model to the analysis of combined photovoltaic/thermal flat plate collectors”, in *Solar Energy vol 22* , pp. 361-366, 1979.
- [2]B.Sandnes, J.Rekstad “A photovoltaic/thermal (PV/T) collector with a polymer absorber plate. Experimental study and analytical model”, *Solar Energy*, vol. 72, pp. 63-73, 2002.
- [3] A.Tiwari, M.S.Sodha “Parametric study of various configurations of hybrid PV/thermal air collector: Experimental validation of theoretical model”, *Solar Energy Materials and solar cells 91*, pp 17-28,2007.
- [4]R.Zakharchenko,L.Licéa-Jiménez,S.A.Pérez-Garcia,P.Vorobiev,U.Dehsa-Carrasco,J.F.Pérez-Robles, J.Gonzalez-Hernandez, Yu.Vorobiev “Photovoltaic solar panel for a hybrid PV/thermal system”, *Solar Energy Materials and solar cells 82*, pp 253-261,2004.
- [5]L.A. Tagliafico, F.Scarpa, M.De Rosa “Dynamic thermal models and CFD analysis for flat-plate thermal solar collectors–A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 526-537, 2014.
- [6]T.T.Chow “Performance analysis of photovoltaic-thermal collector by explicit dynamic model”, *Solar Energy*, vol.75, pp.143-152, 2003

[7] H.A.Zondag, D.W.de Vries, W.G.J Van Helden, R.J.C van Zolingen, A.A. van steenhoven “The yield of different combined PV-thermal collector designs”, *Solar Energy*, vol.74, pp.253-269, 2003.

[8]J.A.Duffie, W.A.Beckman, “Solar Energy Thermal Process”, 1<sup>st</sup> edition, 1991.

[9] Data sheet Dualsun <http://pro.dualsun.fr/wp-content/uploads/DualSun-FR-Fiche-Technique.pdf>.





---

# Exploration du lien entre connectivité anatomique et plissement cortical

Rapport d'avancement de thèse de doctorat  
(version du 18 avril 2017)

**Alexandre Pron**

*Laboratoire LSIS  
MeCA - Institut de Neurosciences de la Timone  
27 Boulevard Jean Moulin  
13005 Marseille  
alexandre.pron@univ-amu.fr*

---

*RESUME. A définir par la commande \resume{...}*

*ABSTRACT. A définir par la commande \abstract{...}*

*MOTS-CLES: irm, diffusion, tractographie*

*KEYWORDS: mri, diffusion, local modeling, tractography*

---

## 1. Introduction

Le cerveau peut être représenté de façon volontairement sur-simplifiée par deux compartiments concentriques : un fin ruban externe, le cortex cérébral (ou matière grise) et la matière blanche, composée de faisceaux de fibres connectant les zones du cortex cérébral entre elles. Cette connectivité corticale passant par la matière blanche est dite anatomique. Malgré l'apparente simplicité de cette considération du cerveau, l'étude systématique de la seule forme du cortex cérébral se révèle complexe de par la forte variabilité inter-individuelle. L'alternance de circonvolutions (gyri) et de sillons (sulci) n'est en effet pas consistante entre les individus (Mangin *et al.*, 2004) et ne permet pas l'extraction d'invariants au sein d'une population de sujets. Le modèle des racines sulcales introduit par J. Régis dans (Régis *et al.*, 2005) stipule l'existence d'entités plus réduites, indivisibles, et présentant une homologie au sein d'une population. Définies comme les lieux de premier plissement lors du développement du cortex cérébral (ontogenèse), les racines sulcales sont délimitées par leurs entités duales, les "plis de passages", des gyri enfouis au fond des sillons. Ces plis de passages sont supposés être par Régis et al, des faisceaux de fibres de matière blanche connectant les deux gyri de part et d'autre du sillon ; établissant un premier lien entre plissement cortical et connectivité anatomique. Différentes stratégies ont été proposées dans la littérature afin de localiser automatiquement la position des racines sulcales notamment à partir de la profondeur (Lohmann *et al.*, 2008, Im *et al.*, 2010, Auzias *et al.*, 2015) introduisant le concept de sulcal pits, estimateur des racines sulcales. L'étude des configurations de sillons et de leur profondeur a montré que les sillons profonds sont en général stables mais sont modifiés en cas d'agénésie (absence de formation) du corps calleux (Leroy *et al.*, 2015). Le corps calleux est une structure de matière blanche clé connectant les deux hémisphères cérébraux. Ceci renforce l'idée d'une interaction entre plissement cortical et faisceaux de fibres de matière blanche. Enfin, les théories neuro-développementales qui tentent d'expliquer l'aspect du cortex cérébral au cours de l'ontogenèse (voir (Striedter *et al.*, 2015) pour une revue) incluent pour certaines les faisceaux de fibre de la matière blanche (voir (Striedter *et al.*, 2015), Buckling shell model). Il semble donc cohérent d'explorer le lien entre forme (plissement cortical) et connectivité anatomique, dans les sillons du cortex cérébral, en portant une attention particulière aux plis de passage et aux sulcal pits. Le premier objectif de ces travaux de thèse est, après une phase exploratoire des données de diffusion, de mettre en place les outils méthodologiques permettant de relier plissement cortical et connectivité anatomique. Les sulcal pits sont, par ailleurs, des marqueurs neuro-anatomiques pertinents dans l'étude du spectre autistique (Brun *et al.*, 2016). La seconde partie de ces travaux de thèse sera consacrée à l'application des méthodes et modèles mis au point sur une base de donnée constituée au sein de l'Institut de Neurosciences de la Timone contenant les acquisitions par Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) de plus de deux cent enfants autistes et contrôles. Il s'agira de voir si une modification des profils de connectivité anatomique est suffisante pour expliquer les différences de configurations de plissement observées dans cette pathologie.

## 2. Reconstruction de la matière blanche

En comparaison avec le cortex cérébral, la structure profonde et superficielle de la matière blanche demeure, jusqu'en 1993, assez méconnue (Crick *et al.*, 1993). La majorité des connaissances du "câblage" du cerveau provenait alors d'étude de propagation de virus chez le primate non humain et de croquis de dissection datant du 18ème et 19ème siècle. Introduit par (Basser *et al.*, 1994), l'IRM de diffusion, a permis l'exploration "intensive" des faisceaux de matière blanche principaux. C'est, encore actuellement, la seule modalité permettant d'accéder de façon non invasive à la structure de la matière blanche. Le principe est le suivant : les molécules d'eau contenues dans les tissus, se déplacent par agitation thermique et explorent le milieu dans lequel elles évoluent. La connaissance de leur déplacement peut donc permettre d'estimer certains paramètres de ce milieu comme sa structure géométrique, et sa microstructure. Le déplacement des molécules d'eau peut être associé à un déphasage. L'IRM de diffusion sélectionne en chaque voxel, un nombre fini d'intensités et de directions de déphasage par l'application de gradients de diffusion (Johansen-Berg *et al.*, 2014). Il en résulte des données à quatre dimensions, les trois premières correspondant à la localisation spatiale du voxel considéré et la dernière au signal mesuré dans les directions et intensités de sélection. Remonter à la structure de la matière blanche est donc un problème inverse double : il nécessite de modéliser le phénomène IRM de mesure par application de gradient et de connaître les lois de diffusion dans un milieu complexe comme les tissus humains. Une chaîne classique de traitement des données en IRM de diffusion peut se décomposer en trois étapes. Les prétraitements qui incluent le débruitage et la correction des artefacts affectant la séquence IRM et pouvant entraîner d'importantes distorsions géométriques (Le Bihan *et al.*, 2006); la modélisation locale (voxel) de la diffusion (Ghosh *et al.*, 2016) et la tractographie (Jbabdi *et al.*, 2011) qui consiste à intégrer l'information de diffusion locale à partir d'un point de départ appelé graine; pour reconstruire des fibres, virtuelles, basées sur le signal de diffusion. L'a priori sous-jacent étant qu'une direction de diffusion intense peut être assimilée à une fibre et donc que les fibres estimées à partir de. A noter que des méthode de tractographie dite globale (Mangin *et al.*, 2013), incorpore modélisation locale et intégration dans une seule étape généralement lié à une minimisation d'énergie. Enfin, une étape de filtrage des fibres virtuelles obtenues peut être effectués afin d'enlever les fibres biologiquement impossibles (Smith *et al.*, 2013)

Si l'IRM de diffusion permet de disséquer virtuellement les principaux faisceaux de la matière blanche et d'en explorer la microstructure; la technique de reconstruction n'est pas exempte de limitations comme l'illustrent le grand nombre de publications incitant à la bonne compréhension de la technique et la prudence dans l'interprétation des résultats. (Jones, 2008).

Premièrement, à l'échelle de mesure couramment utilisée, de l'ordre de 2 mm, les structures observées sont moyennées pouvant conduire dans des zones de transitions rapide comme l'interface cortex / matière blanche à de fort volumes partiels. De plus, les séquences IRM utilisées en diffusion sont susceptibles d'être affectées par de nombreux artefacts (courants de Foucault, artefact de susceptibilité) qui induisent des

distorsions géométriques importantes pouvant conduire à des interprétations erronées. Il est donc nécessaire avant même de modéliser le signal de diffusion de prétraiter le signal acquis afin de corriger les distorsions géométriques. Ensuite, le modèle utilisé doit être adapté à la zone de la matière blanche considérée, certains modèles comme le tenseur de diffusion (DTI) (Tournier *et al.*, 2011) ne parviennent pas à capturer toute l'information géométrique (impossibilité de modéliser un croisement de fibre par exemple). Enfin, l'intégration des champs de probabilité voxelique est un problème mal posé qui nécessite des avancées théoriques importantes. Les algorithmes actuels sont (hors tractographie globale) sont en effets fortement sensibles à leurs nombreux paramètres (pas d'intégration, méthode, point de départ)(Jbabdi *et al.*, 2011)

Il apparaît que la zone d'intérêt de ces travaux de thèse, à proximité du cortex, sous le fond des sillons est complexe à appréhender en IRM de diffusion comme le souligne également cette publication récente (Reveley *et al.*, 2015).

Force est de constater que dans la littérature, très peu de publications existent à propos de la matière blanche superficielle. Dans (Guevara *et al.*, 2017), Guevara et al construisent un atlas robuste de la matière blanche superficielle basé sur soixante douze sujets. Si la méthodologie est intéressante, les données et le modèle de diffusion local utilisé laisse penser que près du cortex les fibres reconstruites manquent de précision. La conclusion de (Guevara *et al.*, 2017) va d'ailleurs dans ce sens, la méthodologie décrite devant être appliquée aux données du Human Connectome Project (HCP) une des références qualité en IRM de diffusion. (Guevara *et al.*, 2017) liste les articles ayant entrepris d'explorer la matière blanche superficielle. On y retrouve (Catani *et al.*, 2012) qui explore les connections courtes du lobe frontal et notamment le sillon central. Le modèle local utilisé est la déconvolution sphérique contrainte (CSD) de (Tournier *et al.*, 2007). Il serait donc intéressant dans un futur proche de voir si nos données permettent de retrouver les patterns observés par Catani notamment dans le sillon central.

Enfin les publications qui étudient des corrélations entre des indices scalaires de plissement cortical et des indices dérivés de diffusion se basent en quasi totalité sur des indices dérivés du tenseur de diffusion qui ne sont a priori pas appropriés pour notre application.

Une direction intéressante est l'extension des indices scalaires issus du tenseur de diffusion aux modèles dit d'ordre supérieur. Dans (Caruyer *et al.*, 2015), les auteurs proposent une méthode basée sur les polynômes homogènes afin d'explicitier tous les indices scalaires invariants par rotation et qui pourraient être utilisés au lieu des indices dérivés du modèle du tenseur. Une des principales limitation est le manque d'interprétations directe de ces indices.

### 3. Contribution scientifique

Durant cette première année de thèse, l'accent a été mis sur la construction d'outils facilitant la construction des modèles statistiques à venir.

Dans un premier temps, afin de limiter l'effet du volume partiel du à une faible résolution spatiale, les données du Human Connectome Project (HCP) , une des références en terme d'acquisition. A noter que la qualité exceptionnelle de ces données pausent des problèmes logistiques et informatiques non négligeable : alors qu'un sujet acquis avec des paramètres standarts peut être traité sur une station de travail classique, les données du HCP doivent l'être sur une grappe de calcul (plus de trente gigaoctet de mémoire vive requis) et les algorithmes doivent être adaptés.

La contribution la plus importante de cette première année de thèse est le développement d'une boîte à outils, nommée Diffuse, qui devrait prochainement être intégrée à la plateforme logicielle Brainvisa. Diffuse est implémentée en Python et regroupe les derniers algorithmes de l'état de l'art en matière de prétraitement des données de diffusion et de modélisation locale. Diffuse intègre également des fonctionnalités de tractographie. La quasi-totalité des prétraitements sont issus du package FSL (Jenkinson *et al.*, 2012) tandis que la partie modélisation locale repose sur la bibliothèque python Dipy (Garyfallidis *et al.*, 2014) Bien que de nombreuses suites logicielles existent dans la littérature (voir (Soares *et al.*, 2013) pour un comparatif), peu intègrent autant de fonctionnalités que FSL ou Dipy faisant de Diffuse, un outils particulièrement souple et évolutif. Enfin, un effort important a été fait pour la visualisation des données de diffusion près du cortex. Ces données, généralement des fonctions de distributions d'orientation définies comme des fonctions réelles définies sur la sphère  $S^2$  doivent idéalement être visualisées en trois dimensions afin de mieux en saisir la complexité. Cette boîte à outils a été développée conjointement avec L. Brun ingénieure de l'équipe Scalp de l'Institut de Neurosciences de la Timone.

Diffuse a été utilisée pour comparer des chaînes de prétraitements et leur influence sur la modélisation locale et les faisceaux de fibres obtenus par tractographie.

Un premier résumé, refusé pour un nombre de sujet trop faible dans l'étude (un sujet pilote lors de la soumission), a été soumis à la conférence méthodologique ISBI. Ce travail , remanié a été accepté pour un poster à la conférence NeuroFrance et un papier incluant cette fois vingt sujets du HCP est actuellement en préparation.

#### 4. Conclusion et perspectives

En cette fin de première année et demi de thèse, il peut sembler que par rapport aux objectifs initiaux, la thèse a pris du retard. En effet, au moment d'écrire ces lignes nous commençons tout juste l'exploration des données au sens propre. Cette longue phase de développement n'en était pas moins nécessaire car elle a permis de mettre en place des outils indispensables pour la bonne poursuite de la thèse et d'acquérir une bonne compréhension des données de diffusion. Dans le futur proche quelques sujets du HCP vont être explorés manuellement a proximité du sillon central (connu pour sa stabilité entre les individus) afin de dégager des tendances ou figures remarquables. Cette partie du sujet est en effet exploratoire. Enfin, les travaux de cette première année seront présentés à la conférence NeuroFrance. L'article sur l'influence des prétraitements sur

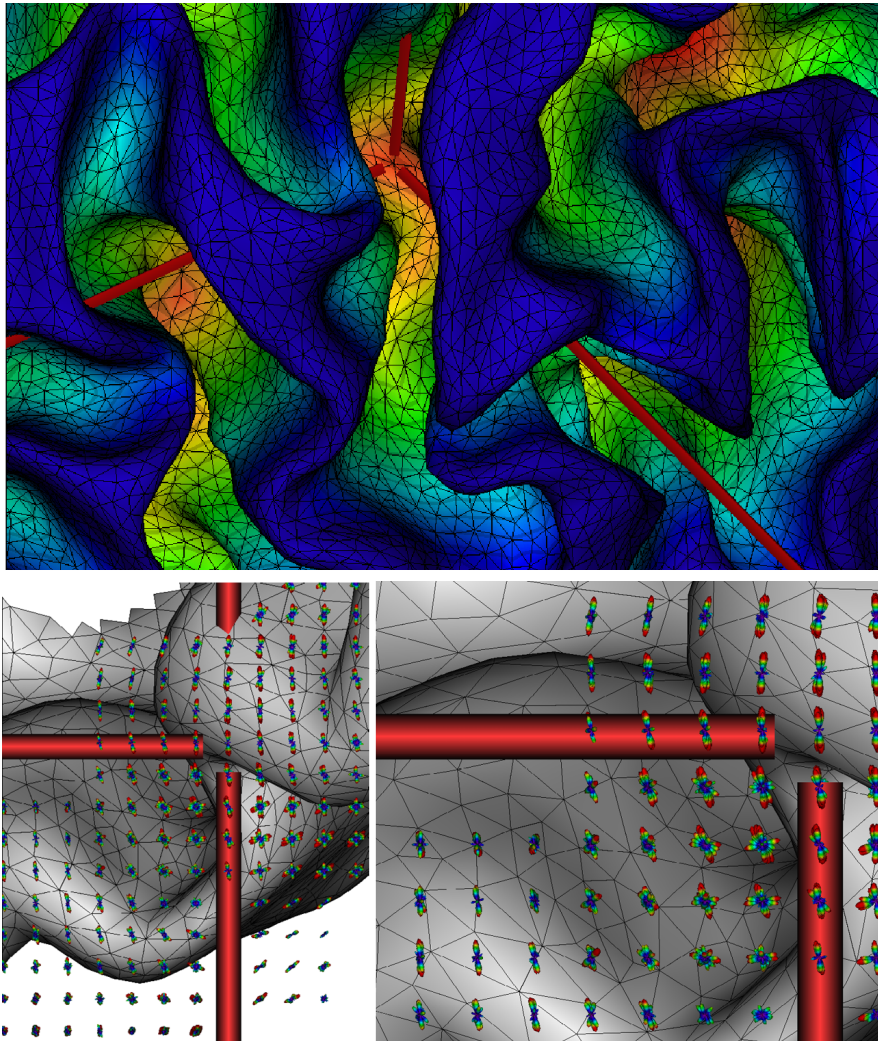


Figure 1 : Exemple de visualisation du sillon central : Figure du haut, maillage entier avec une texture de profondeur géodésique. Figures du bas, vu de dessous du maillage entourant le sillon extrait et affiché avec le champs de fonctions de distribution d'orientation. Le curseur lié permet de se repérer dans les images et le long du sillon

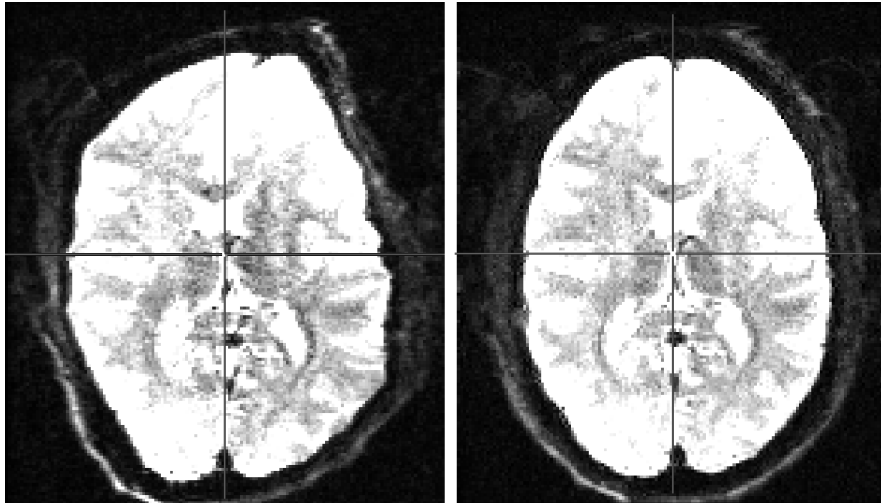


Figure 2 : Données corrigées pour les artefacts IRM issues du même sujet HCP obtenues en utilisant deux méthodes de correction. La correction affine (à gauche) ne parvient pas à restaurer la géométrie du crâne et la zone frontale reste distordue.

les étapes de traitements de diffusion devrait quant à lui être écrit et soumis dans le mois à venir.

## 5. Bibliographie

- Auzias G., Brun L., Deruelle C., Coulon O., « Deep sulcal landmarks : Algorithmic and conceptual improvements in the definition and extraction of sulcal pits », *NeuroImage*, vol. 111, p. 12-25, May, 2015.
- Basser P. J., Mattiello J., LeBihan D., « Estimation of the effective self-diffusion tensor from the NMR spin echo », *Journal of Magnetic Resonance. Series B*, vol. 103, n 3, p. 247-254, March, 1994.
- Brun L., Auzias G., Viellard M., Villeneuve N., Girard N., Poinso F., Da Fonseca D., Deruelle C., « Localized Misfolding Within Broca's Area as a Distinctive Feature of Autistic Disorder », *Biological Psychiatry : Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, vol. 1, n 2, p. 160-168, March, 2016.
- Caruyer E., Verma R., « On facilitating the use of HARDI in population studies by creating rotation-invariant markers », *Medical Image Analysis*, vol. 20, n 1, p. 87-96, February, 2015.
- Catani M., Dell'Acqua F., Vergani F., Malik F., Hodge H., Roy P., Valabregue R., Thiebaut de Schotten M., « Short frontal lobe connections of the human brain », *Cortex*, vol. 48, n 2, p. 273-291, February, 2012.
- Crick F., Jones E., « Backwardness of human neuroanatomy », *Nature*, vol. 361, n 6408, p. 109-110, January, 1993.



- Garyfallidis E., Brett M., Amirbekian B., Rokem A., van der Walt S., Descoteaux M., Nimmo-Smith I., Dipy Contributors, « Dipy, a library for the analysis of diffusion MRI data », *Frontiers in Neuroinformatics*, February, 2014.
- Ghosh A., Deriche R., « A survey of current trends in diffusion MRI for structural brain connectivity », *Journal of Neural Engineering*, vol. 13, n 1, p. 011001, February, 2016.
- Guevara M., Román C., Houenou J., Duclap D., Poupon C., Mangin J. F., Guevara P., « Reproducibility of superficial white matter tracts using diffusion-weighted imaging tractography », *NeuroImage*, vol. 147, p. 703-725, February, 2017.
- Im K., Jo H. J., Mangin J.-F., Evans A. C., Kim S. I., Lee J.-M., « Spatial Distribution of Deep Sulcal Landmarks and Hemispherical Asymmetry on the Cortical Surface », *Cerebral Cortex*, vol. 20, n 3, p. 602-611, March, 2010.
- Jbabdi S., Johansen-Berg H., « Tractography : Where Do We Go from Here ? », *Brain Connectivity*, vol. 1, n 3, p. 169-183, September, 2011.
- Jenkinson M., Beckmann C. F., Behrens T. E., Woolrich M. W., Smith S. M., « FSL », *NeuroImage*, vol. 62, n 2, p. 782-790, August, 2012.
- Johansen-Berg H., Behrens T. E. J., *Diffusion MRI : from quantitative measurement to in vivo neuroanatomy*, 2014.
- Jones D., « Studying connections in the living human brain with diffusion MRI », *Cortex*, vol. 44, n 8, p. 936-952, September, 2008.
- Le Bihan D., Poupon C., Amadon A., Lethimonnier F., « Artifacts and pitfalls in diffusion MRI », *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, vol. 24, n 3, p. 478-488, September, 2006.
- Leroy F., Cai Q., Bogart S. L., Dubois J., Coulon O., Monzalvo K., Fischer C., Glasel H., Van der Haegen L., Bénézit A., Lin C.-P., Kennedy D. N., Ihara A. S., Hertz-Pannier L., Moutard M.-L., Poupon C., Brysbaert M., Roberts N., Hopkins W. D., Mangin J.-F., Dehaene-Lambertz G., « New human-specific brain landmark : The depth asymmetry of superior temporal sulcus », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 112, n 4, p. 1208-1213, January, 2015.
- Lohmann G., von Cramon D. Y., Colchester A. C. F., « Deep Sulcal Landmarks Provide an Organizing Framework for Human Cortical Folding », *Cerebral Cortex*, vol. 18, n 6, p. 1415-1420, June, 2008.
- Mangin J.-F., Fillard P., Cointepas Y., Le Bihan D., Frouin V., Poupon C., « Toward global tractography », *NeuroImage*, vol. 80, p. 290-296, October, 2013.
- Mangin J.-F., Rivière D., Cachia A., Duchesnay E., Cointepas Y., Papadopoulos-Orfanos D., Scifo P., Ochiai T., Brunelle F., Régis J., « A framework to study the cortical folding patterns », *NeuroImage*, vol. 23, p. S129-S138, January, 2004.
- Reveley C., Seth A. K., Pierpaoli C., Silva A. C., Yu D., Saunders R. C., Leopold D. A., Ye F. Q., « Superficial white matter fiber systems impede detection of long-range cortical connections in diffusion MR tractography », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 112, n 21, p. E2820-E2828, May, 2015.
- Régis J., Mangin J.-F., Ochiai T., Frouin V., Rivière D., Cachia A., Tamura M., Samson Y., « “Sulcal Root” Generic Model : a Hypothesis to Overcome the Variability of the Human Cortex Folding Patterns », *Neurologia medico-chirurgica*, vol. 45, n 1, p. 1-17, 2005.
- Smith R. E., Tournier J.-D., Calamante F., Connelly A., « SIFT : Spherical-deconvolution informed filtering of tractograms », *NeuroImage*, vol. 67, p. 298-312, February, 2013.

- Soares J. M., Marques P., Alves V., Sousa N., « A hitchhiker's guide to diffusion tensor imaging », *Frontiers in Neuroscience*, 2013.
- Striedter G. F., Srinivasan S., Monuki E. S., « Cortical Folding : When, Where, How, and Why ? », *Annual Review of Neuroscience*, vol. 38, n 1, p. 291-307, July, 2015.
- Tournier J.-D., Calamante F., Connelly A., « Robust determination of the fibre orientation distribution in diffusion MRI : Non-negativity constrained super-resolved spherical deconvolution », *NeuroImage*, vol. 35, n 4, p. 1459-1472, May, 2007.
- Tournier J.-D., Mori S., Leemans A., « Diffusion tensor imaging and beyond », *Magnetic Resonance in Medicine*, vol. 65, n 6, p. 1532-1556, June, 2011.



# Video Smoke Detection Review

State of the art of smoke detection in visible and IR range

Rabeb Kaabi<sup>1,2,3</sup>  
rabebkaabi89@gmail.com

Sebastien Frizzi<sup>4</sup>  
frizzi@univ-tln.fr

Moez Bouchouicha<sup>2,3</sup>  
moez@univ-tln.fr

Farhat Fnaiech<sup>1</sup>  
fnaiach@ieee.org

Eric Moreau<sup>2,3</sup>  
moreau@univ-tln.fr

<sup>1</sup>Université de Tunis, ENSIT, LR13ES03, SIME, 1008, Montfleury, Tunisia

<sup>2</sup>Université de Toulon, CNRS, LSIS, UMR 7296, 83957 La Garde, France

<sup>3</sup>Aix Marseille Université, CNRS, ENSAM, LSIS, UMR 7296, 13397 Marseille, France

<sup>4</sup>Université de Toulon, Département Génie Biologie- IUT, 83957 La Garde, France

## Abstract

This paper presents a chronological survey of the art describing techniques implemented in different methods for video smoke detection in visible or infra-red range. These image processing techniques are joined to specific smoke features: color, motion, energy. Video smoke detection is extensively used in many military and security applications. To avoid huge scale damage joined to the smoke, smoke detection method should have an important detection rate. A comparative study is exhibited in this article between different methods to show the performance and the detection rate of each method.

**Keywords:** *smoke detection; image processing; smoke features; color; motion; energy; detection rate*

## I. INTRODUCTION

Forest wildfire is one of the disasters affecting humans, animals and vegetation. That's why many researches are focused on the smoke and flame detection using specified systems based on cameras named Video Fire/Smoke Detection system. Detecting fire and smoke quickly could avoid great damages. However, smoke detection is crucial for fire alarm system because there's no fire without some smoke.

Conventional smoke detector systems based on sensors don't give important details about direction and size of smoke contrary to video smoke detection systems [1]. Many missing information about location area are revealed using video smoke detectors. Consequently, the newly implemented smoke detection system is more efficient than traditional detectors and can be also applied in any area: forest, park...

Almost of methods are realized into three steps. The first step is to define the candidate regions which are extracted by using Gaussian Mixture Model and other techniques such as background subtraction. Video smoke detection has diversified static or dynamic features. Some of these smoke features are extracted then.

After smoke feature extraction researches opt for a specific characteristic for clustering with different methods of classification (Markov model, Support Vector Machine,

Bayesian classifiers, RBF kernels, ...). Classification is crucial step for further check and to improve the detection rate and precision.

Smoke detection algorithms are based on image features such as color, motion, energy/flicker analysis and texture. These features are processed by various appropriate techniques (Background Subtraction, Discrete wavelet Transform...) which lead to detect smoke in a good manner and thereby avoid dangerous situation according to the output [2]. Afterward, the goal is to build a rule-based algorithm or a multi-dimensional feature vector which is used as an input to a conventional algorithm for classification: Support vector machine, Kmean, Knn, RNN...

Several researchers have played a significant role in the development of useful video smoke detection systems. We focused on three of them. Their approach could be subdivided to three categories. The first [3], [4] is intended for smoke detection in visible range and a distance between the camera and the target below 100m. On the other hand, the second method [5] deals with infrared images. The last [6] combines both visible and infrared images to detect smoke.

The rest of the paper is organized as follow. Smoke detection methods in visible range are exhibited and the techniques used for detection are detailed in Section 2. Smoke detection in infra-red range is presented and a comparative study between different methods [3], [4] and [6] is shown in Section 3. This comparison is based on the criterion of detection rate. The more the rate is high, the more method is efficient and reliable. Conclusion and perspectives are exhibited in the last section.

## II. VIDEO SMOKE DETECTION IN VISIBLE RANGE

Zhao et al. [7] extracts features: flutter, energy and color to classify one of these characteristics with CS Adaboost algorithm. CS Adaboost algorithm improve weak classifier to strong classifier by updating weights of training sample or input.

Y.Wang et al [8] promotes firstly the quality of image by fuzzy logic .Then, after the static and dynamic feature

14<sup>èmes</sup> Journées des doctorants du LISIS (JDL'6 2017) Marseille, France, 22-23 mai 2017

extraction, they will be inserted in SVM Classifier as an input. This method is reliable and has a high real time. Similarly, Favorskaya et al [9] includes the basic traditional features introduced in the other methods. Their contribution was the choice of RBF for clustering of the smoke and no smoke regions. This classifier offers this method a better performance than SVM classifier. Additionally, Lee et al [10] combine temporal and spatial features (color, moving object, flicker /energy analysis, disorder analysis ...) with clustering algorithms in the same algorithm to find finally smoke regions. Xiong et al [4] extract firstly the following features: background subtraction, flicker frequency, contours. For further check, they classify smoke regions by criteria of perimeter and area of smoke sequence. Toreyin et al [3] are interested by appropriate features as energy behavior of smoke and no smoke regions after dividing to sub-images the input frame and the frame before the appearance of smoke named as background model by using discrete wavelet transform. This is a crucial step to calculate energy ratio determine the energy behavior. Moving object are detected after by using background estimation. Smoke has a chaotic movement that is found by the cited technique. For color detection, they consider that the decrease of U and V in YUV space due to the grayish scene is sign of presence of smoke .Not only these features are extracted but they calculate flicker frequency. All these features are combines to have final decision.

Also, Calderera et al [12] use static classifier named Bayesian classifier. Bayesian approach is used in energy and color information. To compare between the color of input frame and a reference color, they develop a statistical model of gray image energy. This technique detects any change of energy image in the scene. Detection smoke by any type of camera is resumed and shown in Fig. 1 where the steps of detection are presented firstly. In the following, a chronological state of the art is exhibited in this section where we detailed the different steps of each method.

*A. Motion Detection*

First, the labeling of motions caused by smoke is crucial step to extract candidate regions and to know the nature of motion (ordinary or chaotic). Motion detection could be divided to three methods: Background Subtraction, Temporal differencing and Optical Flow.

The most used technique processing background subtraction, is the Gaussian Mixture Model [13] shown in Fig. 2 which subtracts the background image from the current frame to find finally the moving objects. In this approach, the camera is stationary.

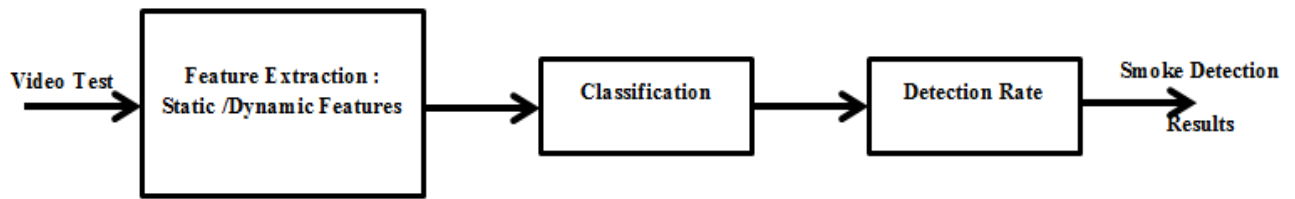


Fig. 1. Smoke detection process in visible range

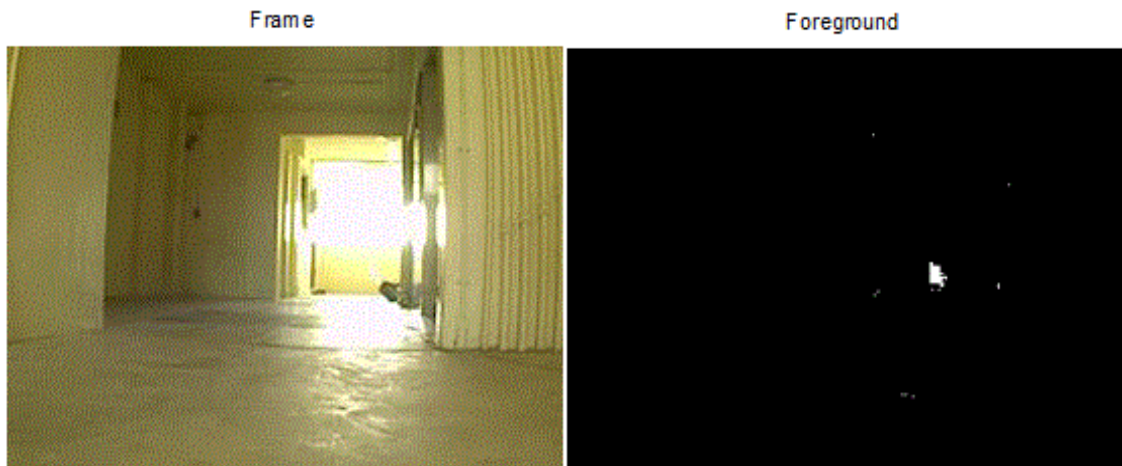


Fig. 2. Application of Background Subtraction in a frame with smoke

**B. Energy wavelet analysis**

The energy wavelet analysis defines the temporal behavior of smoke. The temporal behavior of smoke can be exploited by wavelet domain energy analysis.

As smoke gradually softens the edges in an image, Toreyin et al. [3,6] consider that the decrease of ratio of the energy of the current frame divided per the energy of the background due to the characteristic of the smoke transparency. To calculate the decrease of energy of the block  $B_k$  in the edges of the image, they apply the discrete wavelet transform to the current frame and to the background image before the appearance of the smoke. In fig. 3.a and Fig. 3.b, DWT produces four images HH, LH, HL, LL by convolving the intensity image  $I_t$  by filter banks.

$I_t$  is divided to blocks  $B_k$  with arbitrary size,  $BG_t$  the background image model

$$\alpha(B_k, I_t, BG_t) = \frac{E(B_k, I_t)}{E(B_k, BG_t)} \tag{1}$$

**C. Color Feature:**

Color Detection is one of the most important and the first criterion used for smoke detection. Smoke color can be gray, white, black and dark gray. This characteristic can be treated in different spaces (RGB, YUV, YCbCr, ...).

• *RGB space:*

In RGB space, smoked pixels are characterized by close components R, G, B and invariant rgb configuration:

$$\begin{cases} r = \frac{R}{R+G+B}, g = \frac{G}{R+G+B}, b = \frac{B}{R+G+B} \\ r + g + b = 1 \end{cases} \tag{2}$$

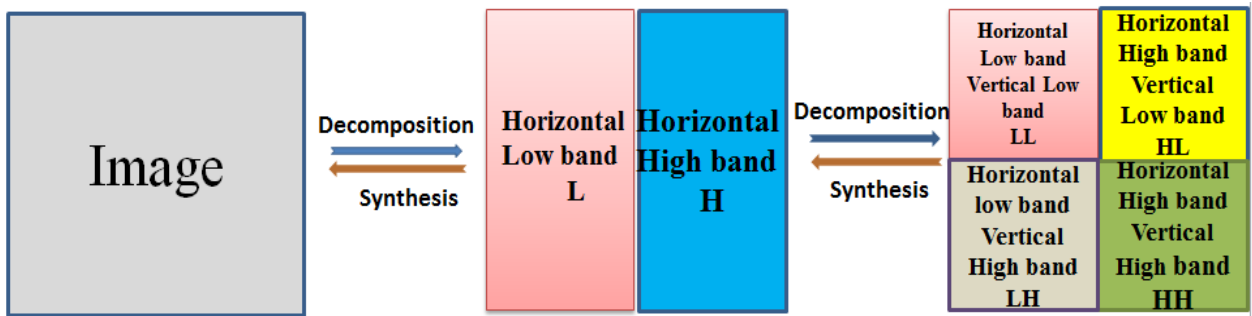


Fig. 3.a. Discrete wavelet Transform



Fig. 3.b. Application of DWT in a frame

$$\begin{aligned} r(I_t, b_k) &\approx r(I_{t+\Delta t}, b_k) \\ g(I_t, b_k) &\approx g(I_{t+\Delta t}, b_k) \\ b(I_t, b_k) &\approx b(I_{t+\Delta t}, b_k) \end{aligned} \quad (3)$$

- *YUV space:*

Chrominance values U, V decrease in smoked regions. Additionally, luminance value Y of affected regions should be high compared to experimentally defined thresholds:

$$\begin{cases} Y > S_y \\ |U - 128| < S_u & |V - 128| < S_v \end{cases} \quad (4)$$

$Y, U, V \in [0, 255]$ ,  $S_y$ ,  $S_u$  and  $S_v$  are experimentally defined.

#### D. Disorder Analysis :

Disorder is a characteristic which defines the direction and propagation of smoke considered as uncontrolled phenomena:

$$disorder(i, j) = \frac{perimeter(i, j)}{area(i, j)} \quad (5)$$

ith frame, perimeter (i,j) is perimeter of object i in the frame and area (i,j) is area of object.

All the used techniques for each method in visible range are shown in Table I.

#### E. Classification:

After the feature classification, they obtain a multidimensional feature vector. Various techniques of classification are used and applied to this vector for further check and to separate smoke and no smoke regions. vector.

This step allows obtaining an important detection rate: Support Vector Machine, Bayesian Classifiers, Markov Models...

The most of researches used Support vector machine as a classification method intended for multidimensional feature vector.

#### F. Detection Rate :

Verstockt et al. [5] develop a comparison between methods. This comparative study between approaches is based on the criterion of detection rate presented as:

$$Detection\ Rate = \frac{Number\ of\ positive\ detected\ frame - Number\ of\ false\ detected\ frames}{Number\ of\ smoked\ frames} \quad (6)$$

This comparison developed by Verstockt in the article [5] between different methods of smoke detection in visible and infra-red range is exhibited in table 2. Test evaluation is presented in Fig .4.

This comparison shows that video smoke detection in infra-red range developed by Verstockt [5] is more reliable than other methods treated in visible range by Toreyin [3] and Xiong [4].

This method has the highest detection rate.

### III. VIDEO SMOKE DETECTION IN INFRA RED RANGE

It exists many techniques treated by Tanner et al. [17], Bevilacqua et al [18], and Grassi et al [19] in video surveillance to detect many features in IR range. In this section, we opt for the recent method of smoke detection developed by Verstockt et al [5]. The steps of smoke detection in IR range are same as smoke detection in visible range but the features change.

Sub blocking is a crucial step to reduce measurement of disturbances using dividing a frame to blocks sized  $i*j$  of pixels.

TABLE I. State of the art: Techniques of smoke Detection

Paper	Color Feature	Moving Object	Energy /Flicker analysis	Disorder Analysis	Subblocking	Classification (SVM ,Knn...)
Gomez-Rodriguez[14],2002		✗	✗	✗		✗
Toreyin[3],2006	YUV	✗	✗	✗		
Xiong[4],2007		✗	✗	✗		
Lee[15],2007	RGB	✗				✗
Calderara[12],2008	RGB	✗	✗		✗	✗
Chen[16],2010	RGB	✗	✗		✗	✗
Yuan [11],2011	RGB	✗	✗		✗	
Verstockt[5],2013		✗	✗		✗	
Zhao[7],2015	RGB	✗	✗			✗
Wang[8],2016		✗				✗
Favorskaya[9],2016	RGB	✗				✗



Fig. 4. Test Evaluation [5]

Each block is defined by amplitude and an average depth. After sub-blocking, Verstockt et al [5] calculate the amplitude of each block and the amplitude of the background model to find finally the difference between amplitude values.

This difference should be lower than a threshold experimentally defined to confirm the possibility of presence of the smoke and the block is labeled as background model.

In the following, they calculate the depth of the block and if it exceeds a threshold  $S^{depth}$ , it can be a sign of smoke and the block is defined as moving depth as shown in Fig 5.

$$\begin{cases} \text{Smoke} & \text{diff}^{amp}[i, j] < S^{amp} \text{ and } b^{depth} > S^{depth} \\ \text{Non smoking otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

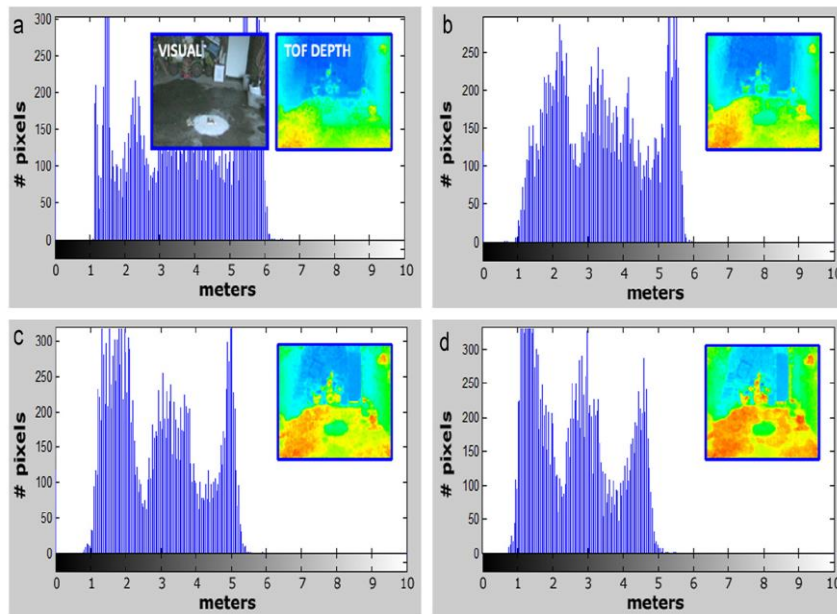


Fig. 5. Average depth change after the appearance of smoke in Verstockt method

TABLE II. Comparison between detection rate of Verstockt method [5](Method 1),method of Toreyin [3](Method 2) method Xiong[4]

Test	Detection rate		
	Method		
	1	2	3
Car fire 1	0.88	0.86	0.85
Car fire 2	0.89	0.89	0.86
Christmas Tree fire	0.91	0.89	0.88



## VI. CONCLUSION

The present article exhibited a state of the art of video smoke detection. The only difference between smoke detection in visible range and infra-red range is the nature of features. We cited all the techniques used in different methods to treat various static or dynamic features of the smoke (Color, Motion, Energy, Flicker disorder, depth and amplitude of block of frames). Moreover, the combination of the different proprieties of smoke reduces false alarms and increases the detection rate.

In the following, we presented the comparative study between methods in visible and infra-red range. We conclude that IR techniques are more reliable than other methods and have a highest detection rate. Nether less, the important cost of IR cameras push researchers to improve smoke detection in visible range by treating all the smoke proprieties and using other developed methods of classification.

## REFERENCES

- [1] S.Garg and A.Verma, "A Review Survey on Smoke Detection," Imperial journal of interdisciplinary reaserch (IJIR), vol-2, Issue-9, 2016.
- [2] S. Memane, "A Review on flame and smoke detection techniques in video's," International Journal of advanced Reaserch in Electrical,Electronics and instrumentaion Engineering,"vol.4 Issue 2 February 2015.
- [3] B.U. Toreyin, Y. Dedeoglu, A.E. Cetin, Contour Based Smoke Detection in Video Using Wavelets, in: Proceedings of the 14th European Signal Processing Conference, 2006.
- [4] Z. Xiong, R. Caballero, H. Wang, A.M. Finn, M.A. Lelic, P.-Y. Peng, Video-Based Smoke Detection: Possibilities, Techniques, and Challenges, in: Proceedings of the IFPA—Fire Suppression & Detection Research & Applications, 2007.
- [5] S. Verstockt, "A multi-modal video analysis approach for car park fire detection," Fire Safety Journal 57 (2013) 44–57, August 2012.
- [6] A. Enis Çetin, "Video fire detection – Review," Digital Signal Processing 23 (2013) 1827–1843, July 2013.
- [7] Y.Zhao, Q.Li,Z.Gu , "Early smoke detection of forest fire video using CS Adaboost algorithm,"Optik-Int.J.Light Electron Opt.(2015).
- [8] Y.WANG, "Smoke Recognition Based on Machine Vision,"2016 International Symposium on Computer, Consumer and Control.
- [9] M.Favorskaya, A.Pyataeva, A.Popov "Spatio-temporal smoke clustering in outdoor scenes based on boosted random forestes,"20th International Conference on Knowledge based and intelligent information and
- [10] Lee C-Y, Lin C-T, Hong C-T, Su M-T. Smoke detection using spatial and temporal analyses. International Journal of Innovative Computing, Information and Control 2012; 8(6):1-11.
- [11] F. Yuan, "A fast accumulative motion orientation model based on integral image for video smoke detection", Pattern Recogn. Lett. 29 (7) (May 2008) 925–932.
- [12] S. Calderara, P. Piccinini, V. Cucchiara, "Smoke detection in video surveillance: A mog model in the wavelet domain," in: Proceedings of 6th International Conference in Computer Vision Systems (ICVS), May 2008, pp. 119–128.
- [13] K.Qi, "Video Segmentation via variational Bayes mixture models,"Journal of IEEE Transactions on image processing,Duke University ,Durham, April 2006 .
- [14] F. Gomez-Rodriguez, S. Pascual-Pena, B. Arrue, A. Ollero, Smoke detection using image processing, in: Proceedings of 4th International Conference on Forest Fire Research & Wildland Fire Safety, November 2002, pp. 1–8.
- [15] B. Lee, D. Han, Real-time fire detection using camera sequence image in tunnel environment, in: Proceedings of International Conference on Intelligent Computing, August 2007, pp. 1209–1220
- [16] J. Chen, Y. He, J. Wang, " Multi-feature fusion based fast video flame detection,"Build. Environ. 45 (5) (May 2010) 1113–1122.
- [17] R. Tanner, M. Studer, A. Zanoli, A. Hartmann, People Detection and Tracking with TOF Sensor, in: Proceedings of the 5th International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, 2008, pp. 356–361.
- [18] A. Bevilacqua, L.D. Stefano, P. Azzari, People Tracking Using a Time-of-Flight Depth Sensor, in: Proceedings of IEEE International Conference on Video and Signal Based Surveillance, 2006, pp. 89–95.
- [19] A. Grassi, V. Frolov, F. Leon, Information fusion to detect and classify pedestrians using invariant features, Inf. Fusion. 12 (2011) 284–292.

---

# ISA - Une approche surfacique inverse pour la projection de données IRMf corticales

## Rapport d'avancement 2016-2017

**Lucie Thiébaud Lonjaret**

*Olea Medical, La Ciotat, France  
Aix-Marseille Univ., CNRS, Institut de Neurosciences de la Timone, Marseille, France  
Aix-Marseille Univ., CNRS, LSIS, Marseille, France*

---

*RESUME. Les approches surfaciques sont reconnues pour leur pertinence et leur fiabilité dans le domaine de l'analyse des données corticales obtenues par imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). Cependant, la projection des volumes fonctionnels sur la surface corticale constitue un défi. Très peu de méthodes ont été proposées, jusqu'à présent, pour résoudre ce problème et la plupart d'entre elles se base sur une simple interpolation. Nous proposons, dans le cadre de ce travail de thèse, une approche surfacique originale reposant sur un modèle direct des relations entre l'activité corticale et les images IRMf, et la résolution du problème inverse associé. Cette méthode offre des perspectives intéressantes pour le traitement des données IRMf de par sa robustesse au bruit et sa précision en termes de localisation spatiale.*

*ABSTRACT. Surface-based approaches have proven particularly relevant and reliable to study cortical functional magnetic resonance imaging (fMRI) data. However projecting fMRI volumes onto the cortical surface remains a challenging problem. Very few methods have been proposed to solve it and most of them rely on a simple interpolation. We propose here an original surface-based method based on a model representing the relationship between cortical activity and fMRI images, and a resolution through an inverse problem. This approach shows interesting perspectives for fMRI data processing as it is highly robust to noise and offers a good accuracy in terms of activations localization.*

*MOTS-CLES : approche surfacique, IRMf, problème inverse, reconstruction de signal, ISA.*

*KEYWORDS: surface-based approach, fMRI, inverse problem, signal reconstruction, ISA.*

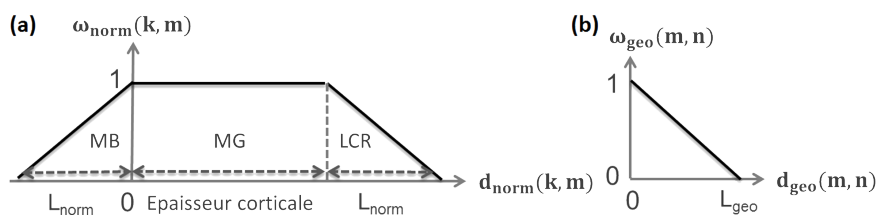
---

## 1. Sujet de thèse

Généralement, les volumes de données IRMf sont post-traités et analysés dans leur espace d'acquisition par le biais de méthodes basées sur les voxels. Cependant, afin de compenser le faible rapport contraste sur bruit (CNR) des données IRMf, ces techniques appliquent un lissage dans l'espace des voxels sans aucune considération pour l'anatomie cérébrale sous-jacente. Cela aboutit à mélanger des informations qui ne devraient pas l'être (ex. des signaux issus des bords opposés d'un sillon). Les méthodes basées sur la surface visent à résoudre ce problème en étudiant les signaux corticaux sur un domaine approximant leur espace d'origine : la surface corticale. Elles conservent de cette façon des voisinages plus pertinents, le voisinage dans la grille des voxels, ne correspondant presque jamais au voisinage réel dans la structure très repliée du cortex.

## 2. Etat de l'art

Parmi l'ensemble des approches surfaciques, deux catégories de méthodes sont à distinguer. Les plus simples conceptuellement reposent sur des méthodes d'interpolation, telles que l'interpolation trilineaire (Andrade *et al.*, 2001) ou la moyenne à l'intérieur d'un ellipsoïde centré sur la surface (Van Essen *et al.*, 2001), pour projeter les données 3D sur la surface corticale. Les procédés plus avancés se basent sur des modèles anatomiquement informés. Ceux-ci sont alors ajustés aux données fonctionnelles 3D (Kiebel *et al.*, 2000), ou utilisés pour interpoler les données volumiques sur la surface corticale (Warnking *et al.*, 2002) (Grova *et al.*, 2006) (Operto *et al.*, 2008). Comme le système d'acquisition est responsable du passage du signal cortical BOLD (Blood Oxygen Level Dependent) dans une grille de voxels cartésienne, nous proposons dans cette thèse une approche surfacique inverse (ISA) pour reconstruire l'activité corticale sur la surface corticale à travers la résolution du problème inverse associé. ISA a besoin de plusieurs entrées : un maillage de l'interface matière blanche / matière grise recalé sur les volumes fonctionnels, et les volumes fonctionnels corrigés contre les mouvements de la tête.



**Figure 1.** Modèles de pondération normale (a) et géodésique (b) utilisés dans la méthode des noyaux de convolution (CK) conçue par Operto et ses collègues (Operto et al., 2008).

### 3. Contribution scientifique et publications

Les travaux présentés ici font l'objet de deux papiers de conférence : l'un (Thiébaud Lonjaret *et al.*, 2017) accepté à la conférence ISBI 2017, l'autre soumis au GRETSI 2017. Une demande de brevet a été déposée et est en cours de traitement.

#### 3.1. Méthode

##### 3.1.1. De l'activité corticale aux volumes fonctionnels : problème direct

Retrouver le signal cortical original à partir des images IRM nécessite d'abord de résoudre le problème direct, soit de modéliser la façon dont le processus d'acquisition a transformé ce signal en des images 3D. Ce modèle doit tenir compte aussi bien des aspects physiologiques que physiques du procédé, tels que la forme du signal BOLD, l'effet de volume partiel (EVP) ou les spécificités géométriques et architecturales du cortex. Dans ce but, le modèle exposé par Operto (Operto *et al.*, 2008) a été adapté au contexte du problème inverse. Ainsi, le signal volumique  $v$  observé au voxel  $k$  résulte de la somme des signaux surfaciques  $I_S$  observés aux nœuds  $m$  (du maillage de  $N_n$  nœuds représentant la surface corticale), pondérés selon une fonction  $\omega_{norm}$  (fig. 1-a) de la distance normale modélisant l'EVP (éq. 1).

$$\begin{cases} v(k) = \sum_{m=1}^{N_n} \omega_{norm}(k, m) I_S(m) \\ I_S(m) = \sum_{n=1}^{N_n} \omega_{geo}(m, n) \gamma(n) \\ \gamma(n) = area(C_n) a(n) \end{cases} \quad [1]$$

De même  $I_S(m)$  résulte de la somme des activités corticales  $\gamma$  aux nœuds voisins  $n$ , pondérées par une fonction  $\omega_{geo}$  (fig. 1-b) de la distance géodésique (c'est-à-dire le long de la surface) modélisant l'activité localement induite (éq. 1). Par ailleurs, du fait de la densité variable du maillage cortical, chaque nœud représente des portions de tailles variées de la surface corticale. Le maillage étant une version discrétisée de la véritable surface, l'activité  $\gamma(n)$  représente en réalité l'ensemble des activités corticales contenues dans la cellule de Voronoï  $C_n$  associée à  $n$  (éq. 1). Pour pallier à l'absence d'a priori sur la distribution de ces activités dans  $C_n$ , l'activité moyenne  $a(n)$  dans cette cellule est considérée. En combinant l'ensemble de ces équations on obtient le modèle direct suivant (éq. 2) que l'on généralise aux séries temporelles volumiques par simple concaténation (éq. 3) afin de traiter l'ensemble des volumes IRMf en une seule session.

$$\begin{cases} v(k) = \sum_{n=1}^{N_n} M(k, n) a(n) \\ M(k, n) = \sum_{m=1}^{N_n} \omega_{norm}(k, m) \omega_{geo}(m, n) area(C_n) \end{cases} \quad [2]$$

$$V = MA \quad [3]$$

En résulte le modèle direct  $M$  liant les volumes IRMf  $V$  (chaque colonne représentant un volume IRMf à un instant  $t$ ) aux signaux corticaux réels  $A$  (chaque colonne représentant l'ensemble des signaux corticaux à un instant  $t$ ).

### 3.1.2. Du volume à la surface : problème inverse

Une fois le modèle direct formulé (éq. 3), vient la résolution du problème inverse associé, soit l'inversion de ce modèle direct. Le nombre de nœuds surfaciques excédant de loin le nombre de voxels fonctionnels pertinents, le problème est extrêmement sous-déterminé et donc à la fois mal-posé et mal-conditionné. Nous avons donc choisi une fonction de coût composée de trois termes : un d'attache aux données  $f_d$  et deux de régularisation  $f_s$  et  $f_t$ . Le terme  $f_d$  (éq. 4) reflète à quel point les volumes IRMF prédits par le modèle direct sont proches des volumes véritablement observés. Ce terme est pondéré par la matrice de covariance du bruit  $R$ , estimée avec (Immerkaer, 1996).

$$f_d(\tilde{A}) = \frac{Tr((V - M\tilde{A})^t R^{-1} (V - M\tilde{A}))}{2} \quad [4]$$

Le terme  $f_s$  (éq. 5) provient de la diffusion locale du signal cortical (Johnson *et al.*, 1993). Cet a priori lisse peut être modélisé en utilisant les distances géodésiques  $d_{geo}$  entre nœuds voisins.

$$\begin{cases} f_s(\tilde{A}) = Tr(\tilde{A}^t D^t D \tilde{A}) \\ D_{i,j} = \frac{\delta_{j,n_{i,1}} - \delta_{j,n_{i,2}}}{d_g(n_{i,1}, n_{i,2}) D_{norm}(n_{i,1}, n_{i,2})} \text{ with } \delta_{i,l} = \begin{cases} 1 & \text{if } i = l \\ 0 & \text{else} \end{cases} \\ D_{norm}(n_{i,1}, n_{i,2}) = \sqrt{\frac{\Omega(n_{i,1})\Omega(n_{i,2})}{\Omega(n_{i,1}) + \Omega(n_{i,2})}} \end{cases} \quad [5]$$

Une clique  $c_i$  est définie comme une paire de nœuds corticaux  $(n_{i,1}, n_{i,2})$  et un poids dépendant à la fois de  $d_{geo}(n_{i,1}, n_{i,2})$  et d'un terme de normalisation  $D_{norm}$ . Ce dernier, basé sur le nombre de nœuds voisins  $\Omega(n)$  de chacun des nœuds de  $c_i$ , est nécessaire pour compenser l'irrégularité du maillage en assurant le même pouvoir de régularisation en chaque nœud. Le terme  $f_t$  (éq. 6) provient, quant à lui, de la fonction de réponse hémodynamique (HRF) qui est lisse dans le temps et façonne les signaux BOLD mesurés en IRMF.

$$f_t(\tilde{A}) = Tr(\tilde{A} T^t T \tilde{A}^t) \quad [6]$$

Cet a priori peut être modélisé avec  $T$  exprimant une différentielle d'ordre deux.

### 3.1.3. Optimisation

Pour obtenir la solution des moindres carrés régularisés, il faut minimiser la fonction de coût correspondante (éq. 7), où  $\lambda_D$  et  $\lambda_T$  sont respectivement les coefficients de régularisation spatial et temporel.

$$f(\tilde{A}) = f_d(\tilde{A}) + \lambda_D f_s(\tilde{A}) + \lambda_T f_t(\tilde{A}) \quad [7]$$

Ce qui revient à annuler son gradient et donc à résoudre l'équation de Sylvester suivante (éq. 8).

$$H\tilde{A} + \tilde{A}G = K \text{ with } \begin{cases} H = M^t R^{-1} M + 2\lambda_D D^t D \\ G = 2\lambda_T T^t T \\ K = M^t R^{-1} V \end{cases} \quad [8]$$

Comme l'opérateur  $H$  est défini positif par construction et que l'opérateur  $G$  est semi-défini positif, on choisit d'utiliser l'algorithme des gradients conjugués linéaires (CG) (Karimi, 2013). En effet, la convergence de cette méthode d'optimisation vers l'optimum global est garantie sous les conditions mentionnées précédemment de façon précise et rapide.

Les coefficients de régularisation ont été choisis suite à une analyse de la stabilité du système (éq. 8) et de ses solutions.  $\lambda_D$  a été choisi de façon à minimiser le conditionnement (c'est-à-dire le rapport de la plus grande valeur propre sur la plus petite) de l'opérateur  $H$ .  $\lambda_T$  a ensuite été choisi empiriquement sur un ensemble indépendant de données simulées pour des maillages de différentes résolutions. La valeur optimale obtenue lors de ces simulations pour  $\lambda_T$  était assez stable et a été fixée à 15.

### 3.2. Résultats

#### 3.2.1. Expériences

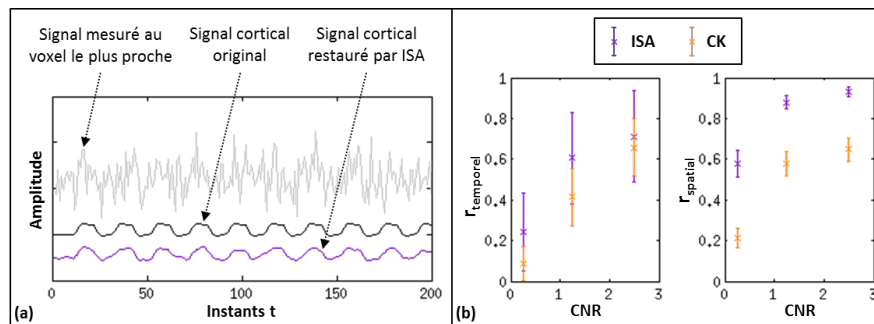
Les performances d'ISA ont été évaluées à la fois sur des données fonctionnelles simulées et sur des données réelles. Les simulations ont été réalisées selon le procédé suivant. D'abord, un maillage cortical a été extrait de données réelles. Puis, une zone d'activation lisse de 1cm de rayon a été simulé sur ce maillage, générant ainsi une texture surfacique. Une répétition de 10 fois cette texture compose les blocs "off" du paradigme en blocs. Les blocs "on" correspondent aux blocs "off" augmentés du pourcentage de changement de signal désiré (ici  $PSC = 5$ ). Une fois le paradigme construit, le signal de chaque noeud est convolué au modèle de HRF de SPM (<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>) en considérant un TR de 2s. Une texture dynamique représentant les fluctuations BOLD dans le temps (fig. 2-a, noir) est ainsi obtenue. Finalement, le modèle direct (éq. 1) est appliqué pour générer les volumes IRMF correspondants. Par souci de réalisme, des niveaux variés de bruit Gaussien ont été ajoutés (fig. 2-a, gris clair).

Afin d'évaluer la robustesse d'ISA face au bruit, 50 différentes réalisations de zone d'activation réparties sur la surface corticale ont été simulées pour 3 niveaux de rapport contraste sur bruit (CNR) différents (CNR = 2.5, 1.25 and 0.25). Dans un second temps, les performances d'ISA ont été évaluées qualitativement à partir de données réelles (de résolution  $3 \times 3 \times 3 \text{mm}^3$ ) provenant d'une expérience de localisation de voix (Belin *et al.*, 2000). L'expérience consistait à projeter sur la surface corticale, d'une part, les cartes T volumiques estimées avec SPM (<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>) pour le contraste "voix - non voix" montrant la position des aires de la voix de chaque individu, et d'autre part, les volumes fonctionnels bruts. Ces derniers ont ensuite été analysés via BrainVisa (<http://brainvisa.info>) pour obtenir les cartes T surfaciques correspondantes. Les résultats de chacune des expériences ont été comparés avec ceux obtenus par CK (Operto *et al.*, 2008), cette dernière ayant déjà prouvé sa supériorité par rapport à l'état de l'art. Les expériences utilisent des maillages corticaux d'environ 60000 noeuds produits par le logiciel BrainVisa.

### 3.2.2. Robustesse au bruit

La qualité des signaux reconstruits a été évaluée dans les domaines spatial et temporel par le calcul des coefficients de corrélation de Pearson : spatial ( $r_{spatial}$ ) avec la texture surfacique originale avant application du modèle direct, et temporel ( $r_{temporel}$ ) avec le paradigme original. Pour  $r_{temporel}$ , seuls les signaux temporels des noeuds situés dans la zone d'activation ont été considérés. Au contraire  $r_{spatial}$  tient compte de l'ensemble de la surface corticale.

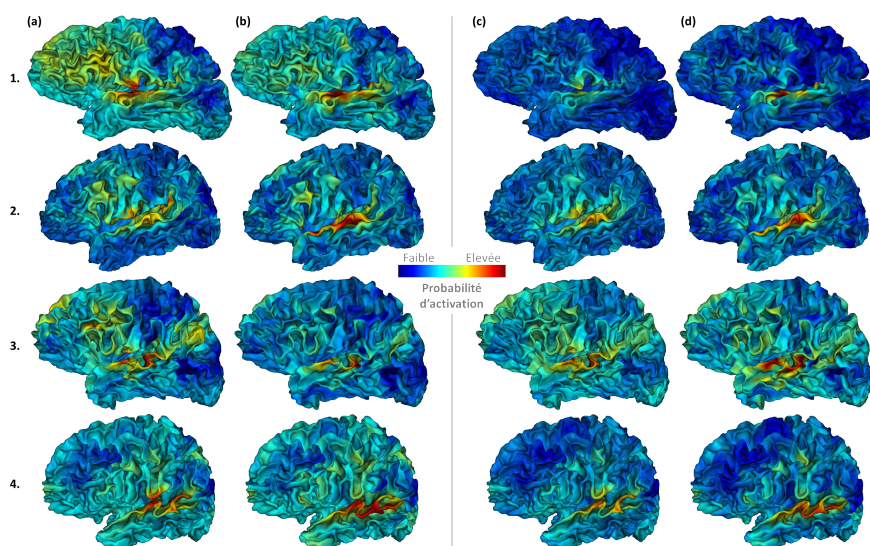
Dans des conditions bruitées, ISA surpasse CK à la fois en terme de localisation et de corrélation au paradigme expérimental (fig. 2-b). En effet, ISA restaure bien les variations temporelles du signal y compris pour des CNR faibles, et ne rencontre de réelles difficultés que lorsque le CNR descend en-dessous de 1, soit quand le signal IRMf contient plus de bruit que de variations d'intérêt. Par ailleurs,  $r_{spatial}$  est nettement meilleur pour ISA que pour CK, démontrant un meilleur contrôle de la régularisation spatiale opérée par ISA. Cependant, si le terme de régularisation spatiale est fixé pour optimiser le conditionnement spatial du problème, cela se fait au détriment de la restauration de l'amplitude du signal (fig. 2-a, violet).



**Figure 2.** (a) Représentation qualitative de l'activité au noeud central d'une zone active. (b) Résultat du test de robustesse au bruit : moyenne et écart-type de  $r_{temporel}$  et  $r_{spatial}$  sur 50 réalisations en fonction du CNR pour ISA (violet) et CK (orange).

### 3.2.3. Données réelles

Globalement, on retrouve les mêmes formes d'activation pour chacun des 4 sujets, quelle que soit la méthode employée (fig. 3). En revanche, plusieurs différences locales importantes apparaissent. Notamment, que ce soit les cartes T volumiques projetées, ou les cartes T surfaciques, CK produit toujours une activation sur les plis corticaux surplombant le lobe temporal (fig. 3) - a,c), et qui n'est pas cohérente avec les aires de la voix répertoriées (Pinto *et al.*, 2016). ISA (fig. 3) - b,d), au contraire, reconstruit des activations qui semblent toujours en accord avec ces aires. Il n'y a pas cette "bavure" du signal sur un bord du cerveau proche de la zone d'activation. Cela démontre l'effet de déconvolution intrinsèque à l'approche inverse : en plus d'offrir une régularisation



**Figure 3.** Résultats obtenus chez 4 sujets pour la projection des cartes T volumiques avec (a) CK et (b) ISA, puis cartes T surfaciques estimées à partir des séries temporelles volumiques projetées avec (c) CK et (d) ISA.

spatiale mieux contrôlée, ISA embarque un modèle de mélange de sources dans le modèle direct, et son inversion permet de les séparer.

En regardant de plus près les cartes T surfaciques obtenues suite : au traitement des séries temporelles par ISA et CK, et à l'analyse par GLM surfacique dans BrainVisa (fig. 3-c,d), on constate que les zones actives apparaissent de façon plus nettes lorsque les données temporelles ont été traitées par ISA au préalable. Cela traduit un meilleur pouvoir de détection avec ISA qu'avec CK. De plus, bien que la précision de la localisation des activations soit liée au poids de la régularisation spatiale, comme on le constate sur les cartes T volumiques projetées (fig. 3-b, où  $\lambda_{D,sujets1et3} < \lambda_{D,sujets2et4}$ ), l'application du processus d'analyse complet, tel qu'il devrait être utilisé en réalité, semble atténuer ces effets (fig. 3-d).

#### 4. Conclusion et perspectives

Nous avons présenté ici une nouvelle approche surfacique pour la projection de données fonctionnelles corticales sur la surface corticale : ISA. Cette technique est particulièrement flexible et offre un cadre permettant d'inclure facilement d'autres connaissances a priori à partir du moment où elles peuvent être exprimées par une fonction. Pour la première fois, ISA a été appliquée à des séries temporelles et les



résultats obtenus sont très satisfaisants. Après une détection d'activation surfacique, ISA démontre qu'en plus d'offrir un meilleur pouvoir de détection que l'état de l'art, elle permet d'obtenir des résultats plus cohérents avec l'état des connaissances en neurosciences. Cela renforce le sentiment de gain en terme de localisation spatiale offert par ISA. Par ailleurs, nos simulations de données fonctionnelles ont été complexifiées. Plus réalistes, elles permettront d'affiner la stratégie de sélection des coefficients de régularisation optimaux. Après les bons résultats d'ISA en conditions bruitées, une évaluation plus poussée de sa robustesse aux erreurs issues des étapes de prétraitement en amont (ex. recalage anatomo-fonctionnel, ou segmentation MG/MB/LCR) est prévue.

## 5. Bibliographie

- Andrade A., Kherif F., Mangin J., Worsley K., Paradis A., Simon O., Dehaene S., Le Bihan D., Poline J. B., « Detection of fMRI activation using cortical surface mapping », *Human Brain Mapping*, vol. 12(2), p. 79-93, 2001.
- Belin P., Zatorre R. J., Lafaille P., Ahad P., Pike B., « Voice-selective areas in human auditory cortex », *Nature*, vol. 403(6767), p. 309-312, 2000.
- Grova C., Makni S., Flandin G., Ciuciu P., Gotman J., Poline J. B., « Anatomically informed interpolation of fMRI data on the cortical surface », *Neuroimage*, vol. 31(4), p. 1475-1486, 2006.
- Immerkaer J., « Fast noise variance estimation », *Computer vision and image understanding*, vol. 64(2), p. 300-302, 1996.
- Johnson P. B., Ferraina S., Caminiti R., « Cortical networks for visual reaching », *Experimental Brain Research*, vol. 97(2), p. 361-365, 1993.
- Karimi S., « Global conjugate gradient method for solving large general Sylvester matrix equation », *Journal of Mathematical Modeling*, vol. 1, p. 15-27, 2013.
- Kiebel S. J., Goebel R., Friston K. J., « Anatomically informed basis functions », *Neuroimage*, vol. 11, p. 656-667, 2000.
- Operto G., Bulot R., Anton J. L., Coulon O., « Projection of fMRI data onto the cortical surface using anatomically-informed convolution kernels », *Neuroimage*, vol. 39(1), p. 127-135, 2008.
- Pinto S., Sato M., *Traité de neurolinguistique : Du cerveau au langage*, De Boeck Supérieur, 2016.
- Thiébaud Lonjaret L., Bakhous C., Boutelier T., Takerkart S., Coulon O., « ISA - An Inverse Surface-based Approach for cortical fMRI data projection », in *proceedings of IEEE ISBI 2017*, 2017.
- Van Essen D. C., Drury H. A., Dickson J., Harwell J., Hanlon D., Anderson C. H., « An Integrated Software Suite for Surface-based Analyses of Cerebral Cortex », *Journal of the American Medical Informatics Association*, vol. 8(5), p. 443-459, 2001.
- Warnking J., Dojat M., Guérin-Dugué A., Delon-Martin C., Olympieff S., Richard N., Chéhikian A., Segebarth C., « fMRI retinotopic mapping—step by step », *Neuroimage*, vol. 17(4), p. 1665-1683, 2002.

# A novel maritime video-surveillance approach based on textural keypoint tracking

Vincent Marie

Aix Marseille Univ, Université de Toulon, CNRS, ENSAM, LSIS  
Marseille, France

vincent.marie@lsis.org

Ikhlef Bechar

Aix Marseille Univ, Université de Toulon, CNRS, ENSAM, LSIS  
Marseille, France

ikhlef.bechar@univ-tln.fr

Frederic Bouchara

Aix Marseille Univ, Université de Toulon, CNRS, ENSAM, LSIS  
Marseille, France

frederic.bouchara@univ-tln.fr

Lionel Gardenal

CS

Institution1 address

lionel.gardenal@c-s.fr

## Abstract

*This paper describes a novel maritime video-surveillance approach aimed to help provide situation awareness in a maritime environment, using either a fixed camera (e.g.; a seacoast security camera) or a moving camera (e.g.; an airborne or a shipborne camera). Due to the various types and the high degree of uncertainty, pertaining to lack of prior information about objects (i.e.; unpredictable targets), the moving background, the low signal to noise ratio, and the fact that a camera may be moving, achieving a final robust video-surveillance system is a very challenging problem. Therefore, our approach makes use of a useful assumption, namely object rigidity as opposed to non-rigidity of maritime background, for achieving a useful video system. In fact, the main originality of the proposed approach is twofold. First, it concerns the way the object rigidity assumption is implemented at the keypoint level for achieving target detection and tracking favoring, at a same time, parsimony and robustness. Second, it concerns the online implementation of the underlying principle of the method, thereby allowing to process in real-time a video flow without sacrificing accuracy. Our tests using both fixed and moving camera videos have demonstrated that our system achieves required operational performance in terms of accuracy and robustness.*

## 1. Introduction

Due to the recent important developments in camera and computing technologies, and the growing need both for semi-automated and fully automated maritime surveillance systems targeting either civil or military applications [17, 24, 5, 8], including optimal monitoring of maritime traffic [22, 12, 3], seacoasts security [18], prevention of fraudulent maritime activities [3, 9, 4, 17], naval defense, and so on, maritime video-surveillance has become a very active area of research in computer vision. The reason is that maritime video-processing poses novel methodological and computational challenges, which had not been traditionally dealt with in video-surveillance, and which thus need be addressed accordingly for achieving required operational performance of a maritime video-system. Among such new challenges, we can mention lack of prior knowledge about maritime targets (e.g.; type, size, speed, shape, texture, etc), absence of a general model of a maritime background which is nonrigid, wavy, foamy and noisy by nature [29], the extreme outdoor conditions (e.g., very moody weather, high humidity, lighting changes and reflection, etc), to which may add the fact that a camera is moving (e.g.; a shipborne or an airborne video camera). Therefore, the final goal of our work is to address all the aforementioned challenges for achieving a general video-surveillance system suited to a variety of both civilian and military maritime applications.

Several maritime video-surveillance systems have been

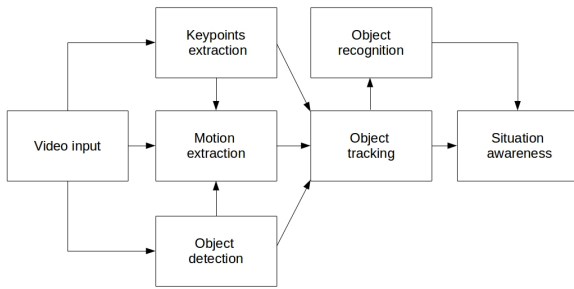


Figure 1: General overview of the proposed maritime video-surveillance system

proposed in the literature. Nevertheless, to the best of our knowledge, only a few of them address the aforementioned challenges solely based on video information, or assume the moving camera case, as it is the case in this paper. Among existing approaches, we can mention the the well-known background subtraction techniques, generally assuming a stationary background model, such as consecutive frame difference techniques [10, 8], and the ones assuming more sophisticated background models, such as the single Gaussian model [27], the mixture of Gaussians (MoG) model [23], and the non-Gaussian background model [21, 14]. However, background subtraction based techniques make the assumption that a camera is either fixed, or at best, only moving slowly. Furthermore, our tests have shown even in the fixed camera case, the latter achieve mitigated performances on maritime videos, due to the non-stationary and the very noisy nature of maritime background. Similar conclusions may also be drawn for some other existing approaches, such as the image registration based techniques [20], the motion segmentation based techniques [16, 26, 15], the individual trajectory based techniques [28], and so on. The reason of that is high inaccuracy of optic flow for maritime videos, thus rendering pixel tracking utterly unreliable. Therefore, many authors have proposed alternative approaches which attempt to take into account specificity of maritime videos for achieving robust maritime video-surveillance systems. We may rank such approaches in two main categories, namely, single-frame based approaches, and sequence based approaches. First, single-frame based approaches attempt to extract targets in each video frame separately using traditional image processing or statistical learning techniques [5, 6, 9]. After that, the former generally resort to image and video post-processing, using video-information gained from previous

frames, for finally achieving target extraction and tracking. However, a major shortcoming of such a category of approaches is that they are very time-consuming, and therefore they may only be suited to off-line, or at best, to quasi-real time video processing. Closest to our approach in this paper is the sequence-based type of approaches. The latter attempt to take advantage of whole video information for achieving target extraction and tracking with highest possible accuracy and robustness, as well as for performing subsequent higher-level tasks, eventually aiming at providing useful situation awareness. Indeed, the crux of our approach is to exploit prior knowledge about object rigidity *versus* non-rigidity of maritime background. However, in contrast to the approaches in [25, 4] which exploit a  $2D$  pinhole camera model either via the fundamental matrix or via the projection of the  $3D$  world onto the  $2D$  camera world, our approach is solely based on video information for achieving a similar goal yet with more advantages. This is because our approach does not need make any assumption about object displacement and the number of objects in a video scene. Furthermore, since the method only analyzes key image locations, this allows to achieve more robustness, and make parsimonious use of computing resources.

## 2. Proposed approach

### 2.1. General idea of the proposed approach

As aforementioned, the final goal of the proposed video-surveillance system is to achieve automated situation awareness in a maritime environment. Therefore, it is essential to be able to detect and track maritime targets in real-time from video and with good accuracy. This is a challenging task in a maritime context, mainly due to lack of prior information about potential targets, the dynamic nature of maritime background, as well as the constraint of a moving camera.

Therefore, the main idea of our method is to exploit the rigidity assumption about objects in order to achieve an accurate moving object segmentation and tracking. Of course, one may not have full access to the whole  $3D$  object information solely based on  $2D$  video information. Therefore, we propose to model instead a weaker  $2D$  rigidity criterion, via textural keypoint tracking. The underlying principle of the proposed method is based on the idea that object keypoints are much more persistent, and their textural information is more stable through time than maritime background locations. Indeed, since keypoints are generally the most robust and the most stable object locations, this renders object recognition and tracking more accurate and more robust, thereby ensuring overall method robustness and reproducibility in varying and unpredictable outdoor conditions. Furthermore, this allows to achieve a fast method which can meet the real-time requirement of the video-system, by simply focusing computations on a subset of video locations.

In practical terms, such a textural keypoint based object recognition and tracking principle is implemented in five steps as follows:

1. Keypoint extraction and selection from single images,
2. Keypoint tracking,
3. Keypoint classification (object vs background),
4. Perceptual grouping of object keypoints,
5. Keypoint based object tracking.

Therefore, the remainder of this paper is devoted to the detailed description of such main steps of the proposed maritime video-surveillance system.

## 2.2. Key-point extraction and selection

The first step of the proposed approach is to extract key image locations, that can further be tracked and eventually classified as object *versus* background. We have tested several existing keypoint extraction methods, such as, SURF [2], ORB [19], and SIFT [13], and we have found that the SIFT method yields the best results on maritime videos both in terms of meaningfulness of the detected keypoints, and of their stability over time. The latter method allows to extract, in the image scale space, both the subpixel location and the textural information of a keypoint (i.e.; a descriptor) computed in its neighborhood. A SIFT keypoint descriptor consists of a gradient magnitude and a gradient orientation histograms. In our method, keypoints are selected based both on their saliency and their contrast threshold, and for computational efficiency, we limit their maximum number with respect to a each video frame to 10% of its total size. Furthermore, the SIFT descriptor is computed in a  $16 \times 16$  window centered around a keypoint location, then weighted using a Gaussian kernel, finally accumulated in a  $4 \times 4$  histogram array using 8 orientation bins, resulting in a histogram of 128 bins. The latter is then convolved using a Gaussian kernel of standard deviation 2 so as to account for noise effects and possible presence of holes, finally transformed into a probability distribution via mere normalization. Such a normalized histogram will be referred to throughout as the textural keypoint descriptor. One notes that, since keypoints are computed in each new video frame independently, special care needs be taken for avoiding accumulation of an increasing number of keypoints over time, which then might result in substantial loss of method performance over time. The latter point will be addressed further in this section.

## 2.3. Key-point tracking

Keypoint tracking is an essential task in the proposed method. It allows both to classify keypoints as object ver-

sus background based on the variation of their textural information over time, and further to perform target tracking. Therefore, we have developed a fast keypoint tracking method consisting of two main steps: a prediction step, and a correction (correction) step. One notes that for the sake of generality (as it could be too restrictive to assume a prior motion model), the latter are purely deterministic, and they are described in details hereafter.

### 2.3.1 Prediction step

The goal of the prediction step of the keypoint tracking method that we propose in this paper is to yield an estimation of the location of each keypoint in a subsequent video frame. Then, the association step allows to position each keypoint at its actual location in a new video frame.

New keypoint location prediction is achieved in our method based on a sparse optical flow estimation technique. The latter is two-frame based, and inspired by the second-order polynomial expansion method developed in [7], and exploitation of whole intensity information within a keypoint neighborhood for limiting the effect of noise on the final estimation. The main idea is to approximate intensity in the neighborhood  $W$  of a keypoint location  $(x, y)$  in two consecutive frames by means of a second-order Taylor polynomial, in such a way that, by assuming a transformation which is a pure translation, one is able to yield a good estimate of keypoint displacement, denoted by  $\mathbf{d}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = (d_x, d_y)^T$ , by solving the following optimization problem:

$$\min_{\mathbf{d}} \sum_{\Delta \mathbf{x} \in W} \omega(\Delta \mathbf{x}) \|\mathbf{A}(\mathbf{x} + \Delta \mathbf{x})\mathbf{d}(\mathbf{x}) - \Delta \mathbf{b}(\mathbf{x} + \Delta \mathbf{x})\|^2 \quad (1)$$

where  $\mathbf{A}(\mathbf{x})$  stands for an averaged Hessian matrix at two different instants of  $x$ ,  $\Delta \mathbf{b}$  the different of its gradient vectors at two different instants,  $\Delta \mathbf{x}$  is the relative position of a window pixel, finally  $\omega(\Delta \mathbf{x})$  stands for a  $2D$  Gaussian kernel with standard deviation  $\sigma$  which have experimentally estimated as 1.8. Then, the solution of problem (1) is given in closed-form by:

$$d = \left( \sum_{\Delta \mathbf{x} \in W} \omega(\Delta \mathbf{x}) \mathbf{A}^T(\mathbf{x} + \Delta \mathbf{x}) \mathbf{A}(\mathbf{x} + \Delta \mathbf{x}) \right)^{-1} \left( \sum_{\Delta \mathbf{x} \in W} \omega(\Delta \mathbf{x}) \mathbf{A}^T(\mathbf{x} + \Delta \mathbf{x}) \Delta \mathbf{b}(\mathbf{x} + \Delta \mathbf{x}) \right)$$

One notes that, since the Hessian matrix is well-conditioned near SIFT keypoint locations, this method generally yields very accurate estimates of keypoint displacement.

### 2.3.2 Association step

Our method requires that all the keypoints detected in each new frame be matched with their predecessors in the previous frame (if any), or declared as new if they cannot be

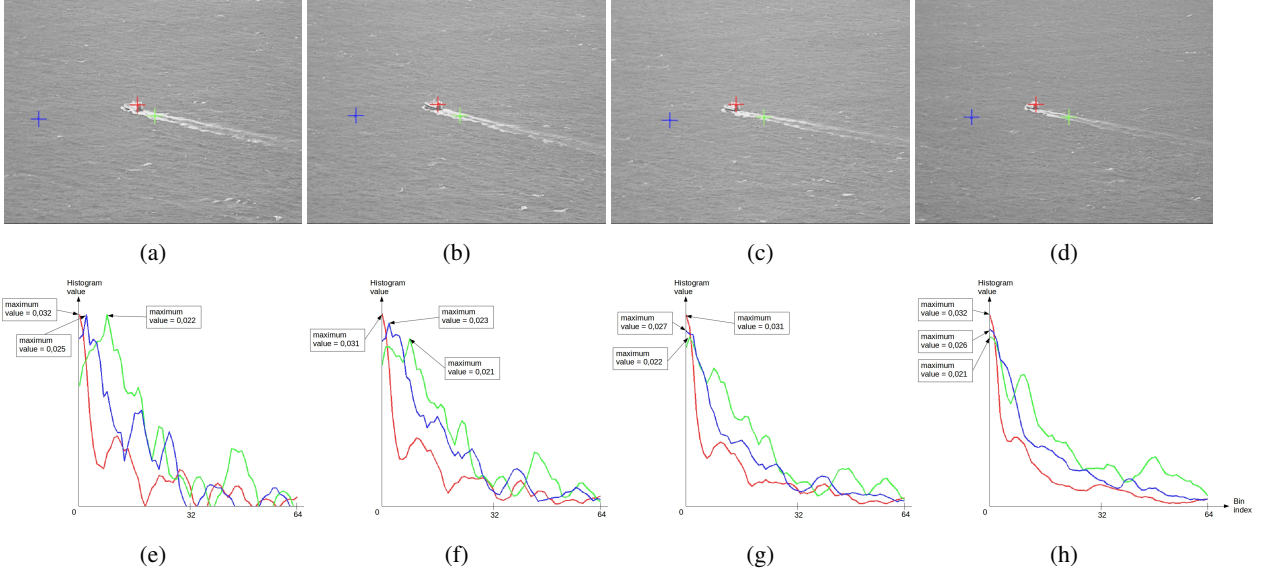


Figure 2: A example of the three types of textural keypoints. (a, b, c, d): input video frames ( $T=1, 25, 50, 100$ ); (e, f, g, h): textural keypoint descriptor; red cross (ship) :  $D_{KL} = 0.0455163$ , green cross (foam) :  $D_{KL} = 0.0639893$ , blue cross (sea) :  $D_{KL} = 0.0653419$

matched with any previous keypoints. Conversely, previously detected keypoints which cannot be matched with their counterparts in a new video frame need be definitively abandoned, although our method is somewhat more subtle than that, in the sense that it allows to give "k" second chances to any old keypoint which cannot be matched with a new one, so as to account for temporarily lost object keypoints.

We have developed a fast keypoint association algorithm as follows. First, suppose  $p$  is a keypoint location at a previous frame. Then, we estimate the variances of optical flow, in a  $5 \times 5$  neighborhood of an old keypoint location  $p$  (i.e.; in the previous video-frame) with respect to both image coordinates, respectively denoted by  $\sigma_x^2$  and  $\sigma_y^2$ , and we put  $\sigma^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2$ . One then notes that, under the gaussian noise assumption,  $\sigma^2$  statistically behaves as a  $\chi_2$  distribution with 2 degrees of freedom. Next, suppose that  $d(p)$  is the estimated optical flow at old keypoint location  $p$ . Then, the new keypoint location in the current video frame is searched in a circular area of radius  $r$  around the updated keypoint location  $p + d(p)$ , where  $r = K \sigma$ . We have fixed the value of  $K$  to 2, corresponding to the 95%-quantile of a  $\chi_2$  distribution. It follows that:

1. if a single new keypoint can be found in such a circular area, then the latter is immediately matched with its predecessor,
2. otherwise, if two or more keypoints are found in such a circular area (which is a very rare case), then a new keypoint is matched with the old one which is closest

to it in terms of the Euclidean distance,

3. finally, if no new keypoint is found in such a circular area, then the old keypoint is declared with no successor, and as aforementioned, removed after  $k$  failures.

## 2.4. Keypoint classification

Keypoint classification as object *versus* background is based on the estimation variation of their textural descriptor (denoted by  $H$ ) over time. Since the latter is modeled as a probability distribution, it makes sense to use a well-known pseudo-distance between probability distributions in order to evaluate keypoint textural variation between any two successive instants. Namely, we have chosen the Kullback-Leibler divergence [11], that we have slightly modified, in order to make it symmetric and achieve a more robust pseudo-distance, as follows:

$$\tilde{D}_{KL}(P||Q) = \sum_i \tilde{D}_i(P, Q) \quad (2)$$

where  $P$  and  $Q$  stand for two discrete probability distributions, and  $\forall i$ , one has:

$$D_i(P, Q) = \begin{cases} P(i) \log \frac{P(i)}{Q(i)}, & \text{if } |P(i) \log \frac{P(i)}{Q(i)}| \leq |Q(i) \log \frac{Q(i)}{P(i)}|, \\ Q(i) \log \frac{Q(i)}{P(i)}, & \text{else.} \end{cases}$$

Robustness of the proposed pseudo-distance can then be checked by noticing that, given any two real positive numbers  $x$  and  $y$ , if  $\inf\{x, y\} \rightarrow 0$ , then  $\inf\{|x \log \frac{x}{y}|, |y \log \frac{y}{x}|\} \rightarrow 0$ . Furthermore, a real-time implementation of formula (2) for each keypoint is achieved

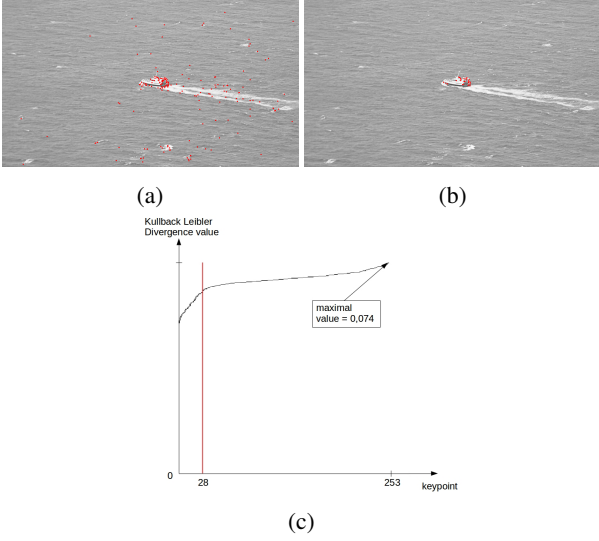


Figure 3: Example of keypoints classification : (a) all the keypoints detected in the image (253); (b) stable keypoints (28); (c) Kullback Leibler distance graph.

by using the moving average principle, merely consisting in updating such a pseudo-distance as follows:

$$\tilde{D}_{KL}(t) = \alpha \tilde{D}_{KL}(t) + (1 - \alpha) \tilde{D}_{KL}(t - 1)$$

where  $\alpha \in (0, 1)$  is a parameter, that we have fixed to 0.9 in all our experiments. An example of variations of three types of textural keypoints is shown in Fig.2.

Next, we propose a method which attempts to classify keypoints either as object or background, based on such a chosen pseudo-distance (2), by computing at each new instant the adequate threshold which separates object keypoints from background keypoints, assuming that the former correspond to lower value, and the latter to highest values (see Fig.3c). Denote by  $\hat{f}_{KL}$  the graph of pseudo-distances of the keypoints after the latter have been sorted in ascending order (see Fig.3 and Fig.4). Then, such threshold is automatically computed as the breakpoint in the graph  $\hat{f}_{KL}$ , based on a multiple-line fitting, and the Akaike information criterion (AIC) [1] for selecting the optimal number of fitting lines, by solving:

$$\min_{f,p} \|f_{KL} - \hat{f}_{KL}\|^2 + 2p\sigma^2$$

where  $p$  is the number of lines, and  $\sigma^2$  is the variance  $f_{KL}$ .

## 2.5. Perceptual grouping of stable keypoints

The output of the previous step consists of a set of stable keypoints that potentially belong to one or more physical objects. Therefore, the next step consists in grouping the

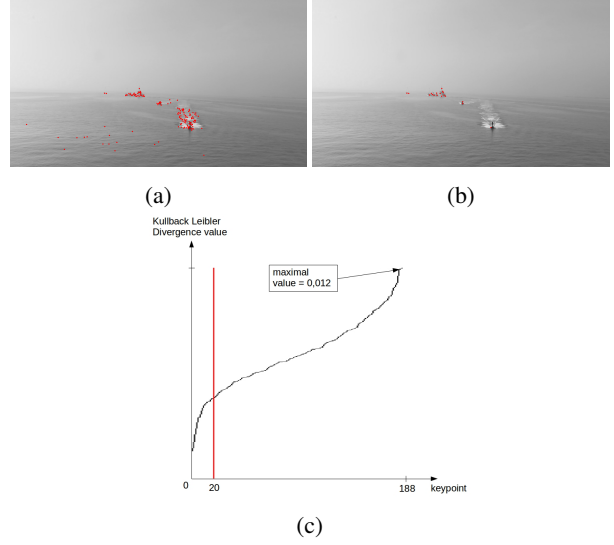


Figure 4: Example of keypoints classification : (a) all the keypoints detected in the image (188); (b) stable keypoints (20); (c) Kullback Leibler distance graph.

latter in meaningful clusters corresponding to physical objects. We use again optical flow for assessing similarity between any couple of keypoints. Indeed, under the assumption that two keypoints  $K_1$  and  $K_2$  belong to a same object, the Euclidean distance between their optical flow vectors, denoted by  $d_{of}(K_1, K_2)$  is a  $\chi^2$  distribution with 2 degrees of freedom. Thus, we decide to group  $K_1$  and  $K_2$  in a same object if:

$$d_{of}(K_1, K_2) \leq T\sigma^2 \quad (3)$$

where  $\sigma^2$  stands for the mean of the variances of the optical flow at locations of  $K_1$  and  $K_2$ . Furthermore, this method is made unsensitive to initialization in the spirit of the RANSAC algorithm, by testing many configurations of keypoint clusters (e.g.; 20), before finally choosing the best one.

## 2.6. Object tracking

The final step of the proposed video-surveillance approach consists in tracking over time the detected objects. We have proposed an object tracking method based on individual tracking of object keypoints (which we have described previously). Furthermore, in order to achieve robust object tracking, we use a voting procedure, in the sense that the new object location is computed as the median of the individual locations of object keypoints.

## 2.7. Experimental work

We have tested off-line the developed maritime video-surveillance using several maritime video datasets acquired with an airborne and a fixed video camera under varying

weather conditions. The obtained results have shown that our method achieves good performances in terms of accuracy *versus* false positives/negatives, even in extreme weather conditions. A sample of video results are shown in Fig.3 and Fig.4.

### 3. Conclusion

We have described a novel maritime video-surveillance approach based the object rigidity assumption, and we have validated our system using several datasets of maritime videos. The current limitation of the proposed approach concerns recognition of very small targets (e.g.; jetskis) when the latter are surrounded by a dense foam. Therefore, as future work, we will attempt to find a satisfactory solution to such a problem, for instance by adding a foam recognition module to the existing system. Last but not least, we will develop a holistic probabilistic graph model approach allowing to incorporate prior expert knowledge in the video-system for achieving fully automated situation awareness.

### Acknowledgment

This work was partially funded by the French Defense Agency (DGA). The authors would like to thank Dr. Frédéric Livernet (DGATn), and Dr. Aline Compillo (DGATn) for their collaboration.

### References

- [1] H. Akaike. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In *Second International Symposium on Information Theory*, pages 267–281. Akadémiai Kiadó, 1973.
- [2] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, and L. Van Gool. Speeded-up robust features (surf). *Comput. Vis. Image Underst.*, 110(3):346–359, 2008.
- [3] I. Bechar, F. Bouchara, T. Lelore, V. Guis, and M. Grimaldi. Uncertainty fusion based object recognition and tracking in maritime scenes using spatiotemporal active contours. In *VISAPP (1)*, pages 682–689, 2014.
- [4] I. Bechar, T. Lelore, F. Bouchara, V. Guis, and M. Grimaldi. Object segmentation from a dynamic background using a pixelwise rigidity criterion and application to maritime target recognition. In *ICIP*, pages 363–367, 2014.
- [5] D. Bloisi, L. Iocchi, M. Fiorini, and G. Graziano. Automatic maritime surveillance with visual target detection. In *Proc. of the Int. Def. Homel. Sec. Sim. Worksh. (DHSS)*, pages 141–145, 2011.
- [6] D. Bloisi, L. Iocchi, M. Fiorini, and G. Graziano. Camera based recognition for marine awareness, great lakes and st. lawrence seaway border regions. In *Int. Conf. Infor. Fusion*, pages 1982–1987, 2012.
- [7] G. Farneback. *Two-Frame Motion Estimation Based on Polynomial Expansion*, pages 363–370. Springer Berlin Heidelberg, 2003.
- [8] S. Fefilyatsev, D. Goldgo, and C. Lembke. Tracking ships from fast moving camera through image registration. In *Proceedings of the Int. Conf. on Pattern Recogn., Istanbul, Turkey*, pages 3500–3503, 2010.
- [9] M. Grimaldi, I. Bechar, T. Lelore, V. Guis, and F. Bouchara. An unsupervised approach to automatic object extraction from a maritime video scene. In *IPTA*, pages 378–383, 2014.
- [10] R. Jain and H. H. Nagel. On the analysis of accumulative difference pictures from image sequences of real world scenes. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 1(2):206–214, 1979.
- [11] S. Kullback and R. A. Leibler. On information and sufficiency. *Ann. Math. Statist.*, 22(1):79–86, 1951.
- [12] J. Leggat, T. Litvak, I. Parker, A. Sinha, S. Vidalis, and A. Wong. Study on persistent monitoring of maritime, great lakes and st. lawrence seaway border regions. In *Contract Report DRDC CSS CR*, pages 2011–2028, 2011.
- [13] D. G. Lowe. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *Int. J. Comput. Vision*, 60(2):91–110, 2004.
- [14] A. Mittal and N. Paragios. Motion-based background subtraction using adaptive kernel density estimation. In *CVPR*, pages 302–309, 2004.
- [15] M. Narayana, A. Hanson, and E. Learned-Miller. Coherent motion segmentation in moving camera videos using optical flow orientations. In *ICCV*, pages 1577–1584, 2013.
- [16] J.-M. Odobez and P. Boutheymy. Direct incremental model-based image motion segmentation for video analysis. *Signal Processing*, 66:143–155, 1998.
- [17] N. Pires, J. Guinet, and E. Dusch. Asv: an innovative automatic system for maritime surveillance. In *Navigation, vol. 58(232)*, pages 1–20, 2010.
- [18] B. J. Rhodes, T. M. Freyman, W. Kreamer, L. Kirschner, A. C. L. Italien, W. Mungovan, C. Stauffer, L. Stolar, A. M. Waxman, and M. Seibert. Seecoast: persistent surveillance and automated scene understanding for ports and coastal areas. In *SPIE, vol. 6578, no. 1.*, page 65781, 2007.
- [19] E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige, and G. Bradski. Orb: An efficient alternative to sift or surf. In *Proceedings of the 2011 International Conference on Computer Vision, ICCV '11*, pages 2564–2571. IEEE Computer Society, 2011.
- [20] S.-Y. M. S.-Y. Chien and L.-G. Chen. Efficient moving object segmentation algorithm using background registration technique. *IEEE Trans. Circ. Syst. Vid. Techn.*, 12(7):577–586, 2002.
- [21] Y. Sheikh, O. Javed, and T. Kanade. Background subtraction for freely moving cameras. In *ICCV*, pages 1219–1225, 2009.
- [22] A. Smith and M. Teal. Identification and tracking of marine objects in nearinfrared image sequences for collision avoidance. In *In 7th Int. Conf. Im. Proc. Applic.*, pages 250–254, 1999.
- [23] C. Stauffer and W. E. L. Grimson. Adaptive background mixture models for real-time tracking. In *CVPR*, pages 2246–2252. IEEE Computer Society, 1999.
- [24] M. R. Sullivan and M. Shah. Visual surveillance in maritime port facilities. In *Proc. SPIE*, page 697811, 2008.

- [25] R. Vidal, S. Soatto, and S. Sastry. Segmentation of dynamic scenes from the multi-body fundamental matrix. In *Proc. of the Workshop on Analysis of Dynamic Scenes*, 2002.
- [26] R. Vidal and R. Tron. A benchmark for the comparison of 3-d motion segmentation algorithms. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 00:1–8, 2007.
- [27] C. Wren, A. Azarbayejani, T. Darrell, and A. Pentland. Pfunder: Real-time tracking of the human body. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 19:780–785, 1997.
- [28] S. Wu, O. Oreifej, and M. Shah. Action recognition in videos acquired by a moving camera using motion decomposition of lagrangian particle trajectories. In *ICCV*, pages 1419–1426, 2011.
- [29] J. S. Zhong. Segmenting foreground objects from a dynamic textured background via a robust kalman filter. In *ICCV*, pages 44–, 2003.





---

## **Rendu interactif et hyper spectral conservateur par illumination globale pour la prédiction de la signature infrarouge des aéronefs**

**Hoarau Romain\***

\* ONERA: PHY/DOTA/MVA | AMU: LSIS/GMOD

---

*RÉSUMÉ. Le rendu spectrale est primordiale pour simuler correctement le transport de la lumière. Toutefois, le temps de calcul et l'empreinte mémoire sont problématique si on veut conserver les données spectrales à une résolution fine à la fin de la simulation. Le temps de calcul peut être amortis par l'utilisation de la puissance de calcul des GPU. Cependant la mémoire des GPUs ne sont pas infinis. Dans cette thèse, nous étudions comment résoudre ces problèmes pour pouvoir simuler des images hyper spectrales de scène d'aéronef à temps interactif.*

*ABSTRACT. Spectral Rendering is mandatory to simulate correctly light transport. Nevertheless the compute time and the memory footprint are problematic especially if we want to conserve a high resolution spectral data at the end of the simulation. The compute time problem can be amortized by the use of GPU. However the GPU memory is not infinite. In this thesis, we study how to solve theses problems to allow us to simulate hyper spectral images of aircraft at interactive time.*

*MOTS-CLÉS: Rendu spectrale, Illumination globale, GPU Computing*

*KEYWORDS: Spectral Rendering, Global illumination, GPU Computing*

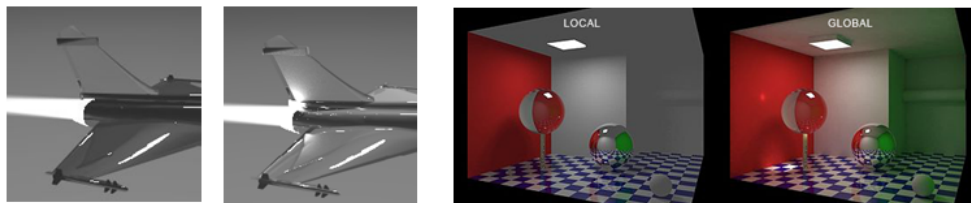
---

## 1. Sujet de thèse :

### 1.1. Contexte :

La signature infrarouge (IR) d'un aéronef est l'ensemble des caractéristiques du signal IR reçu par un détecteur qui peuvent être exploitées par un système optronique pour réaliser une fonction (détection, par exemple). Des technologies émergentes de capteurs permettent dorénavant d'acquérir et d'analyser les composantes multi et hyper spectrales de la signature, dans plusieurs bandes spectrales. Le dimensionnement des futurs capteurs nécessite donc de développer un modèle de signature de l'aéronef prenant en compte ces caractéristiques. Par ailleurs, certaines plateformes de dernière génération présentent des formes qui favorisent la discrétion infrarouge (masquages des parties chaudes, tuyères coudées), ce qui nécessite de modéliser les phénomènes de multi réflexions complexes induits, dans le but de réaliser des expertises ou de permettre de justifier le développement de nouvelles technologies.

Pour prendre en compte les éléments ci-dessus, il nous faut un outil de simulation d'image hyper spectrale précis dans les bandes infrarouge, et si possible du visible. Dans l'infrarouge, on simule généralement des images spectrales via des méthodes d'illumination locale. Ce sont des méthodes éprouvées, mais elles ne permettent pas de prendre en compte l'éclairage au complet (Illumination globale).



**Local Illumination vs Global Illumination in infrared and in visible range.**

CRIRA (Code de calcul du Rayonnement InfraRouge des Avions), l'outil développé par l'ONERA, utilise actuellement une méthode d'illumination globale [Coi12].

L'illumination globale est plus précise mais son temps de calcul est également assez prohibitive (CRIRA : ~1 heure pour 54 canaux). La résolution spectrale est liée au temps de calcul et pose également des problèmes de stockage (CRIRA : 180 canaux au maximum).

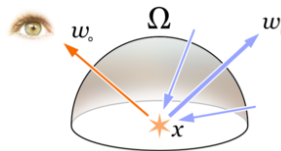
Pour explorer le potentiel du calcul sur GPU, l'ONERA a développé un démonstrateur GPU (ARTGpu) avec CUDA et OptiX (Framework de ray tracing propriétaire de

NVIDIA). Les premiers résultats sont assez encourageants (~10 min pour 54 canaux), mais ce n'est pas suffisants.

## 1.2. Objectifs Scientifiques

Les objectifs de la thèse se déclinent selon deux axes :

- **Mettre au point un rendu interactif par illumination globale** : Pour atteindre cet objectif, il nous faudra réduire le temps de convergence de ces algorithmes existants. Ces algorithmes sont assez lents car ils doivent résoudre l'équation du rendu [Kaj86]:



$$L_o(\lambda, x, \vec{\omega}_o) = L_e(\lambda, x, \vec{\omega}_o) + \int_{\Omega} f_r(\lambda, \vec{\omega}_o, \vec{\omega}_i) L_o(\lambda, x', -\vec{\omega}_i) (\vec{n} \cdot \vec{\omega}_i) V(x, x') d\vec{\omega}_i$$

$\lambda$  : Longueur d'onde.

$x$  : Position sur la surface courante.

$x'$  : Position sur la surface précédente.

$\vec{\omega}_o$  : Direction sortante.

$\vec{\omega}_i$  : Direction incidente.

$f_r(\lambda, \vec{\omega}_o, \vec{\omega}_i)$  : BRDF.

$L_e(\lambda, x, \vec{\omega}_o)$  : Émission propre de la surface.

$L_o(\lambda, x', -\vec{\omega}_i)$  : Luminance spectrale incidente.

$L_o(\lambda, x, \vec{\omega}_o)$  : Luminance spectrale sortante.

$V(x, x')$  : Opérateur de visibilité entre  $x$  et  $x'$  (1 ou 0).

Cette équation est difficile à résoudre (intégrale à haute dimension). Elle nécessite d'utiliser des méthodes numériques tels que les éléments finis ou du Monte-Carlo.

Dans notre cas, on ne peut pas utiliser les méthodes par éléments finis car, elles simplifient l'équation pour ne gérer que les interactions diffuses. Les méthodes Monte-Carlo quant à elles, sont plus robustes mais nécessitent cependant des temps de calcul assez conséquent.

Il faudra également travailler sur la parallélisation et l'implémentation des algorithmes pour tirer parti du potentiel de calcul des stations GPU.

- **Conserver les données radiométriques et améliorer la résolution spectrale de la simulation (rendu hyper spectral conservateur)** : On aura besoin de faire un

rendu en conservant les données dans une image spectrale avec une résolution assez fine (1000 canaux). Il faudra donc régler les problèmes suivants :

- **Le temps de calcul** : Pour chaque canal de l'image, il faut résoudre l'équation de rendu. Il faudra donc voir comment mutualiser certaines parties du calcul de manière efficace.

- **L'empreinte mémoire** : La consommation mémoire de l'image finale est problématique (fig. 1).

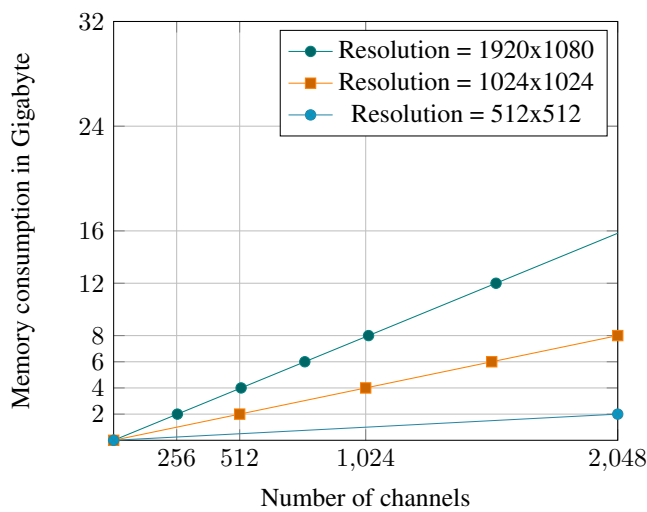


Figure 1 – Empreinte mémoire d'une image spectrale : Pour chaque pixel de l'image, il faut stocker les données radiométriques de chaque canaux (4 octets en simple précision). Une image en résolution HD (1920x1080) de 1024 canaux occuperait 8 GO.

- **La consommation mémoire de l'algorithme** : Pour chaque chemin de lumière, il faut stocker un certain nombre de variable pour chaque canaux (fig. 2).

## 2. État d'art :

### 2.1. Implémentation GPU du Path tracing

Le path tracing [Kaj86] est la plus simple des méthodes d'illumination globale. Son implémentation a commencé à être étudié par [Pur+02] qui, dû au manque de flexibilité du matériel de l'époque, proposèrent une approche multi pass.

Un des problèmes de l'époque était la longueur différentes des chemins qui provoqué une utilisation inefficace du GPU. Les chemins longs étaient propagés par quelques threads, alors que les autres étaient inactif. Pour résoudre ce problème, [NHD10] introduisirent le Regenerative Path Tracing qui découple les chemins des

pixels en utilisant la technique des threads persistants. Si un thread passait en inactif, son chemin était régénéré au lieu d'attendre.

Pour améliorer le Regenerative Path Tracing, [Ant11] proposèrent le Streaming Path Tracing qui compactait les threads régénérés pour améliorer la cohérences des calculs d'intersection des rayons primaires.

Plus tard, [LKA13] soulignèrent le problème de la pression des registres de l'approche mega kernel (l'algorithme dans un seul kernel), et plus spécifiquement quand des matériaux complexes étaient utilisés. Ils introduisirent le Wavefront Path Tracing qui séparent l'algorithme en différents kernels (Multi Kernel). Pour réduire la pression des registres et améliorer la cohérence du code, un kernel était dédié pour chaque matériau. Cette implémentation montra un gain de performance quand la scène était constituée de matériaux complexes. Toutefois, pour des scènes simples, l'overhead du tri (pour dispatcher les threads à chaque matériaux) et du lancement des kernels neutralisaient le gain de performance.

[Dav+14] effectuèrent un état d'art exhaustive sur les implémentations GPU du Path Tracing. Ils proposèrent des approches et testèrent les différentes implémentations. Le Multi Kernel Streaming Path Tracing fut l'approche la plus performante et portable (en performance).

## 2.2. Rendu spectrale

Pour simuler correctement le transport de la lumière dans une scène, le rendu spectral est primordiale. Dans la communauté de l'informatique graphique, le rendu spectral est utilisé principalement pour le rendu prédictif et les validations colorimétriques.

La manière la plus simple pour permettre un rendu spectral, est de transporter une longueur d'onde par chemin. Toutefois, cette approche est inefficace vu qu'un chemin est valide pour plus d'une longueur d'onde dans la majorité des cas. [EM99] proposèrent de réutiliser le chemin par un cluster de longueur d'onde échantillonnée par les lumières de la scène. Pour gérer le cas des réfractions (valide uniquement pour une longueur d'onde), 3 stratégies étaient proposées par les auteurs :

- **Degradation** : Une longueur d'onde est choisie pour continuer le chemin. Les autres sont dégradées ce qui augmente la variance.
- **Splitting** : Le chemin est séparé pour chaque longueur d'onde. Cette stratégie n'est pas facile à mettre en place sur GPU et elle n'est pas efficace en temps de calcul.
- **Deferral** : Un chemin est généré pour une longueur d'onde. Si il n'a pas rencontré une réfraction, les autres longueur d'ondes réutilisent ce chemin.

[RBA09] améliora la technique en introduisant un échantillonnage spectral durant la propagation du chemin. Pour réduire la variance, les auteurs proposèrent d'utiliser

le MIS (Multi Importance Sampling) [VG95] pour prendre en compte les différentes probabilités des longueurs d'ondes transportées par le chemin.

[Wil+14] clarifia l'utilisation du MIS et d'un chemin pour plusieurs longueur d'onde. Ils proposèrent une approche plus simple et optimisée. Un cluster de longueur d'onde était généré à partir d'une longueur d'onde (hero wavelength) en appliquant un offset régulier pour couvrir le spectre du visible.

Pour tous ces travaux, il doit être noté que les données spectrales ne sont pas conservées mais converties à la volée dans l'espace de couleur XYZ à la fin de chaque itération des l'algorithmes.

### 3. Contribution scientifique et publications :

Nous somme en train de soumettre un papier pour HPG2017 (High Performance Graphics). Le papier s'intitule : « Interactive Conservative Hyper Spectral Rendering on GPU ». Dans cette article nous proposons une implémentation (DPEPT : Deferred Path Evaluation Path Tracing) dont la consommation mémoire n'est pas dépendante du nombre de canaux à simuler (fig. 3). Cette technique est également plus performante que l'approche conventionnelle (fig. 4).

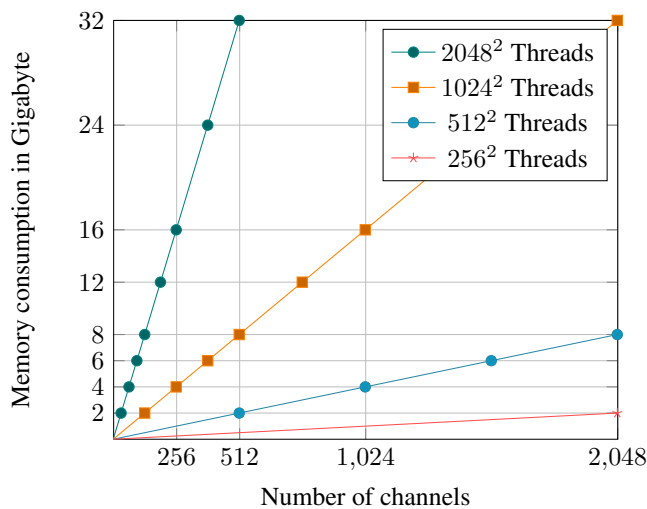


Figure 2 – Consommation mémoire du Path Tracing pour différentes taille de pool de thread : On a besoin entre 2048<sup>2</sup> et 1024<sup>2</sup> threads pour atteindre le pic de performance. Or un thread a besoin de stocker l'état du chemin et l'état de chaque canaux. Un pool de 1024<sup>2</sup> threads va rapidement limiter le nombre de canaux.(e.g. 512 canaux pour environs 8 GO de mémoire consommé).

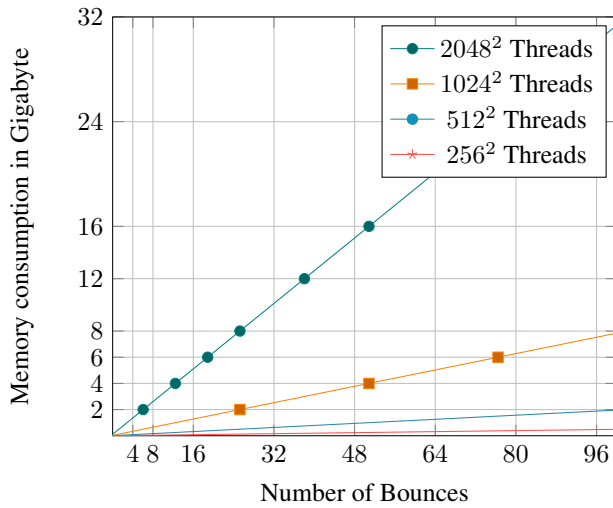


Figure 3 – Consommation mémoire du DPEPT pour différentes taille de pool de thread : Pour chaque thread, on a besoin de stocker l'état du chemin et les vertices du chemin. Qu'importe le nombre de canaux, un pool de 1024<sup>2</sup> threads avec 32 rebonds va consommer autour de 2.5 GO.

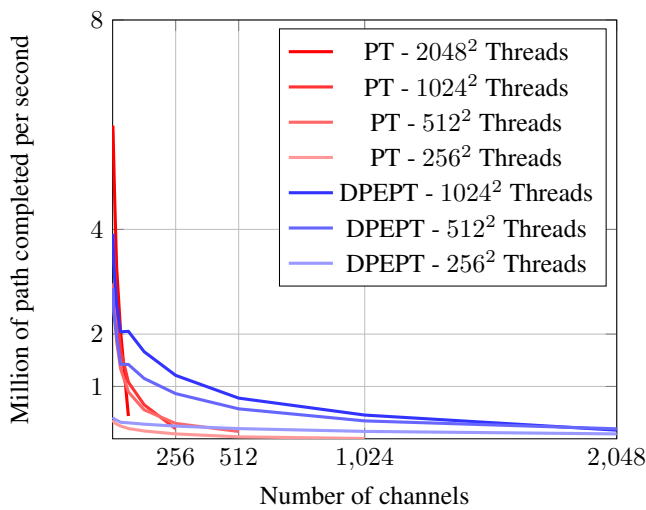


Figure 4 – Sponza Benchmark (Fury)



## 4. Conclusion :

### 4.1. Travaux future :

- Activer l'échantillonnage spectrale des chemins pour réduire la convergence de l'algorithme. On aura besoin d'adapter la méthode de [Wil+14].
- Étudier un schéma de parallélisation multi gpu efficace.
- Pour réduire le temps de convergence, on va devoir échantillonner explicitement les lumières de la scène. La méthode de [Coi12] adapte le Next Event Estimation (variante du Path Tracing) pour l'infrarouge. Cette méthode ne peut qu'échantillonner le soleil, ce qui n'est optimal que dans les scènes de jour et dans certaines bandes spectrales où l'éclairage du soleil est dominant. Après plusieurs recherches et vérifications, le Path Tracing couplé avec du Multiple Importance Sampling [VG95] serait compatible avec l'infrarouge. Cette méthode permettrait d'échantillonner toutes les sources de lumière de la scène dans l'infrarouge. Elle est également plus performante que le Next Event Estimation. Une fois l'algorithme implémenté, il nous faudra trouver comment échantillonner de manière efficace les lumières de la scène (c'est à dire tous les objets de la scène).
- Trouver une structure de donnée pour manipuler et stocker efficacement les données spectrales.
- Ajouter la polarisation à notre rendu spectrale conservateur. Nous pensons que un path tracer polarisé pourrait grandement bénéficier de notre technique vu que l'état des canaux est plus volumineux.
- Reprendre l'idée du DPEPT pour l'appliquer à d'autre algorithme d'illumination globale plus complexe.

### 4.2. Perspectives :

- Dimensionnement des futurs capteurs optiques.
- Prototypage virtuel de signature infrarouge en jouant sur la forme et les matériaux de l'aéronef.

## References

- [Kaj86] James T Kajiya. "The Rendering Equation". In: *SIGGRAPH Comput. Graph.* 20.4 (1986), pp. 143–150. ISSN: 0097-8930. DOI: 10 . 1145 / 15886 . 15902. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/15886.15902> (cit. on pp. 3, 4).
- [VG95] Eric Veach and Leonidas J. Guibas. "Optimally combining sampling techniques for Monte Carlo rendering". In: *Proceedings of the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH '95* (1995), pp. 419–428. ISSN: 00978930. DOI: 10 . 1145 /

- 218380.218498. URL: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=218380.218498> (cit. on pp. 6, 8).
- [EM99] Glenn F. Evans and Micheal D. McCool. “Stratified wavelength clusters for efficient spectral Monte Carlo rendering”. In: *Proceedings of the 1999 conference on Graphics interface '99*. 1999, pp. 42–49. ISBN: 1-55860-632-7. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=351631.351648> (cit. on p. 5).
- [Pur+02] Timothy J Purcell et al. “Ray tracing on programmable graphics hardware”. In: *ACM Transactions on Graphics (TOG) - Proceedings of ACM SIGGRAPH 2002* 21 (2002), pp. 703–712. ISSN: 07300301. DOI: 10.1145/566654.566640 (cit. on p. 4).
- [RBA09] Michal Radziszewski, Krzysztof Boryczko, and Witold Alda. “An improved technique for full spectral rendering”. In: *Journal of WSCG* 17.1-3 (2009), pp. 9–16. ISSN: 0014-2956. URL: <http://otik.uk.zcu.cz:80/handle/11025/1278> (cit. on p. 5).
- [NHD10] Jan Novák, Vlastimil Havran, and Carsten Dachsbacher. “Path Regeneration for Interactive Path Tracing”. In: *Eurographics 2010* (2010), pp. 1–4 (cit. on p. 4).
- [Ant11] Dietger Van Antwerpen. “Improving SIMD Efficiency for Parallel Monte Carlo Light Transport on the GPU”. In: *Hpg 2011 X* (2011), p. 10. DOI: 10.1145/2018323.2018330 (cit. on p. 5).
- [Coi12] E Coiro. “Global Illumination Technique for Aircraft Infrared Signature Calculations”. In: *Journal of Aircraft* 50.1 (2012), pp. 103–113. ISSN: 0021-8669. DOI: 10.2514/1.C031787. URL: <http://dx.doi.org/10.2514/1.C031787> (cit. on pp. 2, 8).
- [LKA13] Samuli Laine, Tero Karras, and Timo Aila. “Megakernels Considered Harmful : Wavefront Path Tracing on GPUs”. In: *mediatech.aalto.fi* typically 32 (2013). URL: [https://mediatech.aalto.fi/%7B%7Dtimo/publications/laine2013hpg%7B%5C\\_%7Dpaper.pdf](https://mediatech.aalto.fi/%7B%7Dtimo/publications/laine2013hpg%7B%5C_%7Dpaper.pdf) (cit. on p. 5).
- [Dav+14] Tomáš Davidovič et al. “Progressive Light Transport Simulation on the GPU”. In: *ACM Transactions on Graphics* 33.3 (2014), pp. 1–19. ISSN: 07300301. DOI: 10.1145/2602144. arXiv: 1006.4903. URL: <http://cgg.mff.cuni.cz/%7B%7Djaroslav/papers/2014-gpult/2014-gpult-paper.pdf%7B%5C%7D5Cnhttp://cgg.mff.cuni.cz/%7B%7Djaroslav/papers/2014-gpult/%7B%5C%7D5Cnhttp://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2631978.2602144> (cit. on p. 5).
- [Wil+14] Alexander Wilkie et al. “Hero Wavelength Spectral Sampling”. In: *Computer Graphics Forum* 33.4 (2014), pp. 123–131. ISSN: 01677055. DOI: 10.1111/cgf.12419. URL: <http://doi.wiley.com/10.1111/cgf.12419> (cit. on pp. 6, 8).

Remerciements

La thèse est financée par la région PACA et l'ONERA.

## Index des auteurs

Almuhsen, Feda, [39](#)

BenAbdellatif, Mohamed, [163](#)

Bendella, Meryem, [45](#)

Budi Raharjo, Agus, [53](#)

Busson, David, [113](#)

Christoff, Nicole, [31](#)

Cottanceau, Emmanuel, [103](#)

Dutto, Vincent, [139](#)

Girlando, Marianna, [1](#)

Guerin, Joris, [61](#)

Guibon, Gael, [13](#)

Harache, Fazia, [145](#)

Harakeh, Aref, [91](#)

Hoarau, Romain, [203](#)

Htait, Amal, [23](#)

Kaabi, Rabeb, [181](#)

Marie, Vincent, [195](#)

Pron, Alexandre, [171](#)

Renault, Alexandre, [127](#)

Thiebaut Lonjare, Lucie, [187](#)

TIAN, Tian, [67](#)

Wu, Changshun, [83](#)

YANG, Lan, [75](#)

Zoppitelli, Pierre, [153](#)