



## Cours 4 | Accélération algorithmique et matérielle des méthodes d'estimation de cartes d'abondances en imagerie hyper-spectrale

Titre: Accélération algorithmique et matérielle des méthodes d'estimation de cartes d'abondances en imagerie hyper-spectrale

Auteurs: Maxime Legendre

Ecole/Université: [Ecole centrale de Nantes](#)

Résumé: L'imagerie hyperspectrale consiste en une mesure du spectre de réflectance en chacun des pixels d'une [image](#). Cette technique de mesure est utilisée pour la télédétection aéroportée, en astrophysique ou encore en microscopie. Le traitement du grand volume de [données](#) que représente une image hyperspectrale nécessite à la fois des méthodes présentant un coût de calcul maîtrisé et un besoin mémoire raisonnable. Le traitement proposé dans cette thèse a pour objectif l'estimation de cartes d'abondances (proportions de plusieurs constituants dans chaque pixel de l'image) par minimisation d'un critère de type moindres carrés sous des contraintes de positivité et de somme à un, additionné d'un terme de pénalisation pour assurer une régularité spatiale des cartes.

Les travaux réalisés ont pour objectif la réduction du temps de calcul d'une méthode d'optimisation de type points-intérieurs. Des modifications algorithmiques basées sur la notion d'approximation majorante séparable sont proposées. Il en résulte une méthode à la fois plus rapide et plus adaptée aux outils de calcul parallèle. Une implémentation sur processeurs de cartes graphiques (GPU) est réalisée et appliquée à grande échelle pour traiter un grand nombre d'images hyperspectrales issues de la mission d'exploration spatiale Mars Express. La méthode développée est également utilisée dans un [projet](#) de suivi de la végétation sur la côte atlantique française.

Extrait du sommaire:

- 1 Introduction générale 13
  - 1.1 Imagerie hyperspectrale 13
    - 1.1.1 De l'image classique à l'image hyperspectrale 13
    - 1.1.2 Acquisition d'une image hyperspectrale 15
    - 1.1.3 Applications 17



## Cours 4 | Accélération algorithmique et matérielle des méthodes d'estimation de cartes d'abondances en imagerie hyper-spectrale

1.1.4 Traitements possibles	18
1.1.5 Problèmes inverses	18
1.2 Contributions de la thèse et publications	19
1.3 Organisation du document	20
2 Estimation des cartes d'abondances en imagerie hyperspectrale	23
2.1 Séparation de sources en imagerie hyperspectrale	23
2.2 Hypothèses de travail	24
2.2.1 Modèle de mélange linéaire	24
2.2.2 Contraintes	25
2.2.3 Régularisation spatiale	26
2.3 Formulation du problème	28
2.4 Méthodes de résolution existantes	29
2.4.1 Quelques notions d'optimisation convexe	29
2.4.2 NNLS : Non-Negative Least Squares	31
2.4.3 FCLS : Fully Constrained Least Squares	34
2.4.4 ADMM : Alternating Direction Method of Multipliers	35
2.4.5 IPLS : Interior-Points Least Squares	39
2.5 Conclusion	46
3 Analyse comparative des méthodes existantes	47
3.1 Protocole expérimental	47
3.2 Situation de référence	49
3.3 Influence du nombre de pixels $N$	53
3.4 Influence du nombre de spectres purs $P$	53
3.5 Robustesse face au bruit	54
3.6 Robustesse face à l'imprécision des spectres purs	54
3.7 Influence du type de contrainte utilisé	55
3.8 Influence de la pénalisation spatiale	56
3.8.1 Choix des paramètres de pénalisation	56
3.8.2 Situation de référence avec pénalisation	60



## Cours 4 | Accélération algorithmique et matérielle des méthodes d'estimation de cartes d'abondances en imagerie hyper-spectrale

3.9 Conclusion	60
4 Accélération algorithmique de la méthode de points intérieurs	63
4.1 Identification de l'étape critique	64
4.2 Stratégies de calcul dans le cas non-pénalisé	65
4.2.1 Traitement séparé de chaque pixel	65
4.2.2 Traitement séparé de tous les pixels	66
4.2.3 Résultats des différentes versions proposées	68
4.3 Accélération dans le cas pénalisé	69
4.3.1 Analyse de la structure du calcul des directions primales	69
4.3.2 Résolution par approche par Majoration-Minimisation Quadratique	70
4.3.3 Résolution par gradient conjugué préconditionné	77
4.3.4 Résultats	79
4.4 Conclusion	80
5 Accélération matérielle de la méthode de points intérieurs	81
5.1 Introduction	82
5.1.1 Le calcul parallèle	82
5.1.2 Histoire du GPU : du jeu-video au calcul scientifique	83
5.2 La programmation sur GPU avec CUDA	84
5.2.1 Introduction à CUDA	84
5.2.2 Architecture matérielle	84
5.2.3 Architecture logicielle	85
5.2.4 Règles d'exécutions	87
5.3 Inversion d'un grand nombre de systèmes linéaires sur GPU	87
5.3.1 Contexte de l'étude	87
5.3.2 Algorithme d'inversion	88
5.3.3 Implémentation GPU	89
5.3.4 Résultats	91
5.4 Implémentation de l'algorithme de points intérieurs	92
5.4.1 Implémentation par pixel	92



## Cours 4 | Accélération algorithmique et matérielle des méthodes d'estimation de cartes d'abondances en imagerie hyper-spectrale

- 5.4.2 Implémentation par image 93
- 5.5 Résultats sur images simulées 94
  - 5.5.1 Sans pénalisation : choix de la meilleur implémentation GPU 94
  - 5.5.2 Sans pénalisation : comparaison CPU/GPU 95
  - 5.5.3 Avec pénalisation : comparaison CPU/GPU 96
- 5.6 Conclusion 98
- 6 Application à des images réelles 99
  - 6.1 Cartographie des formations géologiques sur Mars 99
    - 6.1.1 Mars Express et OMEGA 99
    - 6.1.2 Démixage spectral supervisé : application à grande échelle sans pénalisation spatiale 100
    - 6.1.3 Estimation des cartes d'abondances sur une image avec pénalisation spatiale 103
  - 6.2 Suivi de la végétation sur les dunes côtières de Vendée 107
  - 6.3 Conclusion 108
- 7 Conclusion générale 111
  - 7.1 Bilan 111
  - 7.2 Perspectives 112
- A Intérêt de la contrainte « somme inférieure ou égale à 1 » 115
- B Solving Systems of Linear Equations by GPU-based Matrix Factorization in a Science Ground Segment 117
- C Documentation de l'interface graphique 125
- Bibliographie 129

### [Cours accélération matérielle \(4\)](#)

Télécharger le fichier PDF: [Accélération algorithmique et matérielle des méthodes d'estimation de cartes d'abondances en imagerie hyper-spectrale](#)