

PROPOSITION D'UNE APPROCHE DE SEGMENTATION D'IMAGES HYPERSPECTRALES

Nathalie GORRETTA MONTEIRO ¹

¹UMR Information et Technologies pour les Agro-Procédés, Cemagref Montpellier, France

Présentée le 25 Février 2009



Plan de la présentation

1 Mise en contexte du sujet de thèse

- Contexte et enjeux
- Quels outils ?
- L'imagerie hyperspectrale

2 Problématique et Objectifs

- Cadre général
- Déclinaison

3 Validation et Résultats

- Introduction
- Un exemple simple
- Application

4 Conclusion et Perspectives

Plan de la présentation

1 Mise en contexte du sujet de thèse

- Contexte et enjeux
- Quels outils ?
- L'imagerie hyperspectrale

2 Problématique et Objectifs

- Cadre général
- Déclinaison

3 Validation et Résultats

- Introduction
- Un exemple simple
- Application

4 Conclusion et Perspectives

Agriculture et Environnement

Contexte Applicatif

Production agricole végétale



Agriculture et Environnement

Contexte Applicatif

Production agricole végétale

Exigence sociétale

Limitation de l'impact négatif sur :

- L'environnement,
- La santé.

Directive Européenne

Réduction de l'utilisation des pesticides.



Agriculture et Environnement

Au champ : Définir des nouveaux modes de production

Agriculture et Environnement

Au champ : Définir des nouveaux modes de production

Limitation Intrants



Agriculture et Environnement

Au champ : Définir des nouveaux modes de production

Limitation Intrants



Limiter l'utilisation Ressources Naturelles



Agriculture et Environnement

Au champ : Définir des nouveaux modes de production

Limitation Intrants



Limiter l'utilisation Ressources Naturelles



Assurer la rentabilité



Au champ : nouveaux modes de production

Agir tout au long du parcours cultural :

- Connaissance des espèces (conditions climatiques, résistance...).
- Vigilance et attention (croissance, attaques, carences...).

⇒ Agir au plus tôt et de façon ciblée

Exemples :

Détecter des maladies



Détecter des adventices



Nouveaux modes de production

Des outils et méthodes pour :

- Caractériser les agrosystèmes,
- Réaliser un suivi dynamique de l'état des cultures...

de façon

- non destructive,
- rapide...

Mesures optiques

Bien adaptées à la caractérisation de l'état des surfaces agricoles et des cultures (Goel :2003, Seclan :2003, Zhang et al :2003, Smith et al :2004...)

Plan de la présentation

1 Mise en contexte du sujet de thèse

- Contexte et enjeux
- Quels outils ?
- L'imagerie hyperspectrale

2 Problématique et Objectifs

- Cadre général
- Déclinaison

3 Validation et Résultats

- Introduction
- Un exemple simple
- Application

4 Conclusion et Perspectives

Outils

Technologies	Vision couleur	Vision multispectrale	spectrométrie	Imagerie hyperspectrale
Information spatiale	✓	✓		✓
Information spectrale	limitée	limitée	✓	✓

Mesure spatiale limitée spectralement



- Forme, texture...
- Couleur.

Outils

Technologies	Vision couleur	Vision multispectrale	spectrométrie	Imagerie hyperspectrale
Information spatiale	✓	✓		✓
Information spectrale	limitée	limitée	✓	✓

Mesure spatiale limitée spectralement



Image de végétation: R+V+NIR

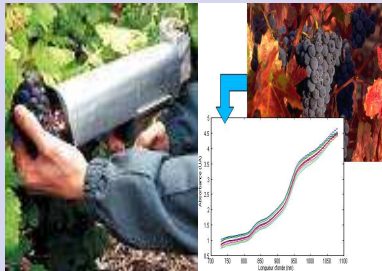
image pomme: NIR

- Forme, texture...
- Indice de Végétation, défaut.

Outils

Technologies	Vision couleur	Vision multispectrale	spectrométrie	Imagerie hyperspectrale
Information spatiale	✓	✓		✓
Information spectrale	limitée	limitée	✓	✓

Mesure spectrale locale



- spectre,
- Teneur constituant.

Outils

Technologies	Vision couleur	Vision multispectrale	spectrométrie	Imagerie hyperspectrale
Information spatiale	✓	✓		✓
Information spectrale	limitée	limitée	✓	✓

Mesure spectrale spatialisée

Plan de la présentation

1 Mise en contexte du sujet de thèse

- Contexte et enjeux
- Quels outils ?
- L'imagerie hyperspectrale

2 Problématique et Objectifs

- Cadre général
- Déclinaison

3 Validation et Résultats

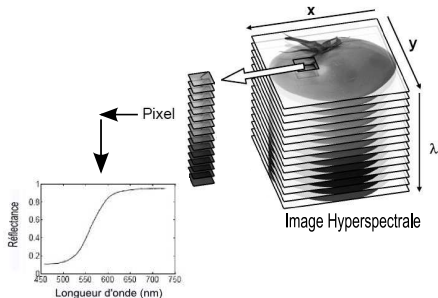
- Introduction
- Un exemple simple
- Application

4 Conclusion et Perspectives

Définition

Kruse :2000

Collection de spectres pour tous les pixels d'une image, où le spectre est une mesure continue d'une distribution de longueurs d'onde avec une résolution spatiale suffisante pour résoudre la variabilité naturelle du système d'intérêt.



Caractéristiques des IHS

Des données à **haute résolution spectrale**

- \oplus Description de propriétés physico-chimiques fines,
- \ominus Malédiction de la dimensionnalité (Hugues, 1968).

Des données à **haute résolution spatiale**

- \oplus Description de structures spatiales fines,
- \ominus Outils permettant d'accéder à l'information spatiale,

Un constat

Deux espaces complexes et **complémentaires !!!**

Traitement des IHS

Combiner information spectrale et spatiale

⇒ Développer une approche de segmentation non supervisée d'IHS

Un problème :

- Délicat,
- D'actualité,
- Mais peu d'approches dans la littérature.

Approches utilisant les dimensions spectrale et spatiale : État de l'art

Deux grandes approches :

- 1 Approches issues des méthodes de classification classiques : ajout d'une contrainte spatiale,
- 2 Approches de segmentation d'images scalaires étendues au cas multivarié.

Approche	Principe
SVM	combinaison d'un noyau spectral et spatial
Fuzzy-C-Means	fonction d'objectif : pondération degrés d'appartenance conditionnellement à l'information spatiale
Champs de Markov	Terme d'attache aux données : contraintes d'homogénéité locales

Approches utilisant les dimensions spectrale et spatiale : État de l'art

Deux grandes approches :

- 1 Approches issues des méthodes de classification classiques : ajout d'une contrainte spatiale,
- 2 Approches de segmentation d'images scalaires étendues au cas multivarié.

Approche	Principe
Approches segmentation régions	Méthodes usuelles sur espace complet ou réduit
Outils morphologiques	Méthodes usuelles sur espace réduit

Approches utilisant les dimensions spectrale et spatiale : État de l'art

Deux grandes approches :

Outils Classification

- Espace spectral favorisé,
- Voisinage fixe.

Extensions outils AI

- Espace spatial favorisé,
- Réduction d'espace
- spatial/spectral traités indépendamment.

Traitement des IHS

Problématique de la thèse

Développer une approche de segmentation non supervisée d'IHS

Cahier des charges

- 1 Espace spectral :
 - **Nécessité** de réduire sa dimension.
 - Utiliser des outils spécialisés : outils de traitement de spectres (chimiométrie).
- 2 Espace spectral :
 - Utiliser des outils spécialisés : outils de traitement d'image.
- 3 La réduction sur un espace doit être dépendante de celle réalisée sur l'autre espace : dépendance,
- 4 **Ne pas favoriser** un espace par rapport à l'autre : équilibre.

Plan de la présentation

1 Mise en contexte du sujet de thèse

- Contexte et enjeux
- Quels outils ?
- L'imagerie hyperspectrale

2 Problématique et Objectifs

- Cadre général
- Déclinaison

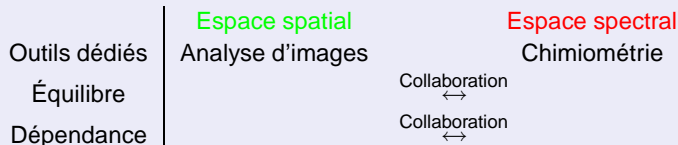
3 Validation et Résultats

- Introduction
- Un exemple simple
- Application

4 Conclusion et Perspectives

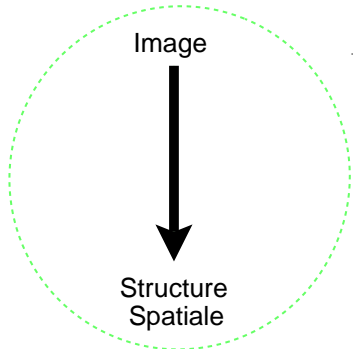
Vers une proposition d'approche de segmentation d'IHS

Quelques principes...

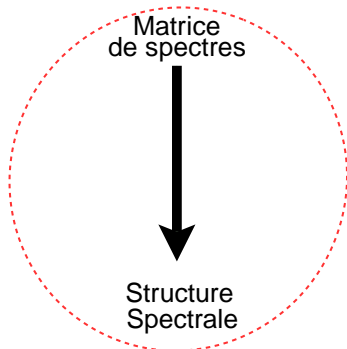


Une proposition : cadre général

Espace Spatial

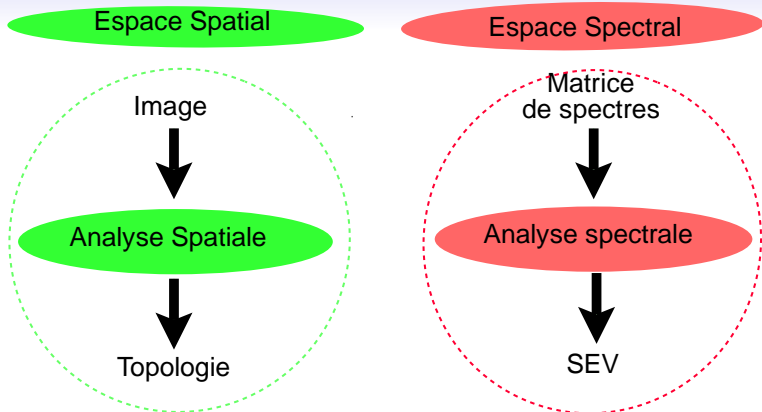


Espace Spectral



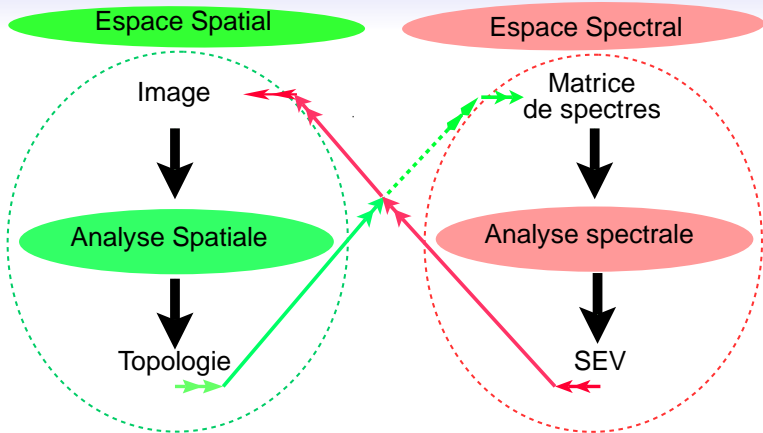
D'un côté comme de l'autre, on cherche une structure...

Une proposition : cadre général



L'analyse d'image fournit une topologie, la chimiométrie fournit un sous espace vectoriel (SEV)

Une proposition : le papillon générique



⇒ Construire un SEV sachant une topologie,
⇒ Construire une topologie sur un sous espace vectoriel.

Plan de la présentation

1 Mise en contexte du sujet de thèse

- Contexte et enjeux
- Quels outils ?
- L'imagerie hyperspectrale

2 Problématique et Objectifs

- Cadre général
- Déclinaison

3 Validation et Résultats

- Introduction
- Un exemple simple
- Application

4 Conclusion et Perspectives

Une proposition : le papillon appliqué

Dans la majorité des cas, on s'intéresse à des objets (Cultures, mauvaises herbe, parcelles...)
⇒ Topologie limitée aux notions de voisinage et d'adjacence.

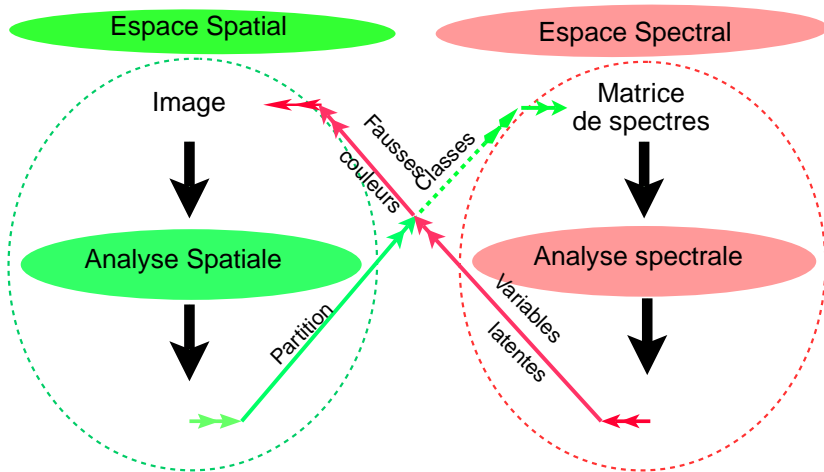
Il faut donc :

- Calculer un sous espace vectoriel connaissant une partition de l'image,
- Segmenter une image sur un espace de variables latentes.

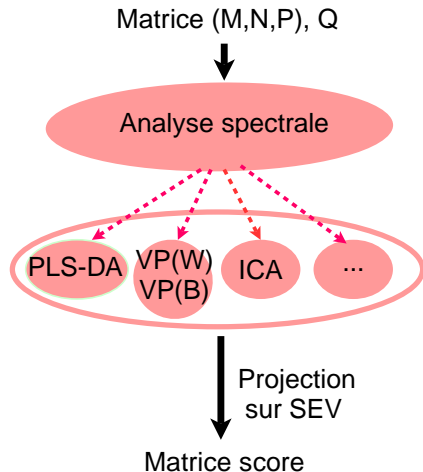
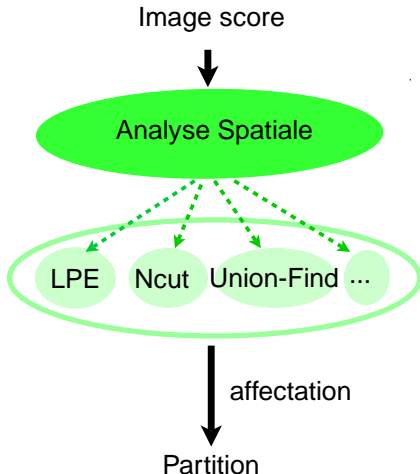
Il suffit de faire :

- 1 région = 1 classe,
- 1 plan image = 1 image score (1 variable latente).

Une proposition : le papillon appliqué



Quels outils d'analyse spatiale et spectrale ?



Quels outils d'analyse spectrale et spatiale ?

Deux approches de segmentation régions :

- Mode descendant : division de régions (ex : split)
- Mode ascendant : fusion de pixels ou de régions (ex : croissance de régions)

Quels outils d'analyse spectrale et spatiale ?

La Qualité de l'information recherchée est différente :

DIVISION :

- Augmenter le nombre de régions tout :
 - En Divisant les régions les moins homogènes,
 - En Diminuant l'hétérogénéité intra-région (W).

FUSION :

- Diminuer le nombre de régions tout :
 - En fusionnant les régions les plus similaires,
 - En préservant l'hétérogénéité inter-région (B),

On doit donc avoir :

- Une approche de construction de VL adaptée,
- Des paramètres adaptés :
 - Nombre de variables latentes,
 - Nombre de coupes, de fusions,
 - Critère de coupes, de fusions.

Quels outils d'analyse spectrale et spatiale : choix et préconisations

Processus de Division

- Espace spectral
 - Vecteurs propres de la variance intra ($VP(W)$),
 - Analyse en composantes indépendantes sur régions préalablement centrées...
- Nombre de variables latentes minimal i.e 1 :
 - Deux régions qui sont différentes sur 1VL sont forcément différentes sur plusieurs VL,
 - Possibilité d'utiliser des approches de segmentation scalaires.
- Nombre de coupes fixé à 1 (deux régions déterminées à chaque itération)
 - Résolution de la complexité pas à pas ... doucement
- Critère de division :
 - Lambda de Wilks : $\Lambda = \frac{\text{trace}(\text{variance inter})}{\text{trace}(\text{variance totale})} = \frac{\text{trace}(B)}{\text{trace}(T)}$.

Quels outils d'analyse spectrale et spatiale : choix et préconisations

Processus de Fusion

- Espace spectral
 - Vecteurs propres de la variance inter-régions ($VP(B)$),
 - PLS-DA,
 - ICA sur centre des régions...
- Nombre de variables latentes maximal ($NbClasses - 1$) :
 - On sera d'autant plus sûr que deux régions sont similaires que le nombre de VL utilisé pour les décrire sera grand (analogie chameau/dromadaire).
- Nombre de fusions fixé à 1 (deux régions fusionnées à chaque itération)
 - Résolution de la complexité pas à pas ... doucement
- Critère de fusion :
 - Lambda de Wilks.

Plan de la présentation

- 1 **Mise en contexte du sujet de thèse**
 - Contexte et enjeux
 - Quels outils ?
 - L'imagerie hyperspectrale
- 2 **Problématique et Objectifs**
 - Cadre général
 - Déclinaison
- 3 **Validation et Résultats**
 - Introduction
 - Un exemple simple
 - Application
- 4 **Conclusion et Perspectives**

Implémentation choisie

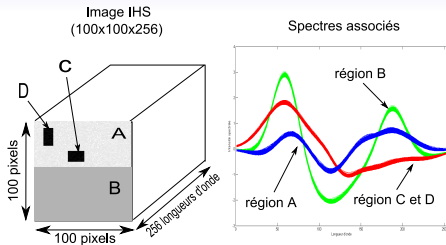
Papillon implémenté

- 1 phase de division (i itérations) + 1 phase de fusion (j itérations),
- Construction des VL :
 - Division : vecteurs propres de la variance intra ($VP(W)$),
 - Fusion : vecteurs propres de la variance inter ($VP(B)$).
- Utilisation des paramètres préconisés :
 - 1 VL pour la phase de division
 - $(NbClasse - 1)$ VL pour la phase de fusion
 - Divisions/Fusions opportunes : Λ de Wilks et test de toutes les possibilités.
- Approches de segmentation investies :
 - Quad-tree,
 - Coupes normalisées,
 - Ligne de Partage des Eaux Modifiée.

Plan de la présentation

- 1 **Mise en contexte du sujet de thèse**
 - Contexte et enjeux
 - Quels outils ?
 - L'imagerie hyperspectrale
- 2 **Problématique et Objectifs**
 - Cadre général
 - Déclinaison
- 3 **Validation et Résultats**
 - Introduction
 - Un exemple simple
 - Application
- 4 **Conclusion et Perspectives**

Illustration du fonctionnement du Papillon



- Taille : $100 \times 100 \times 256$,
- Structure simple,
- Papillon :
 - 1 phase de division (7 itérations) + 1 phase de fusion (4 itérations),
 - Un algorithme de segmentation en régions.

Illustration du fonctionnement du Papillon

Étape de division

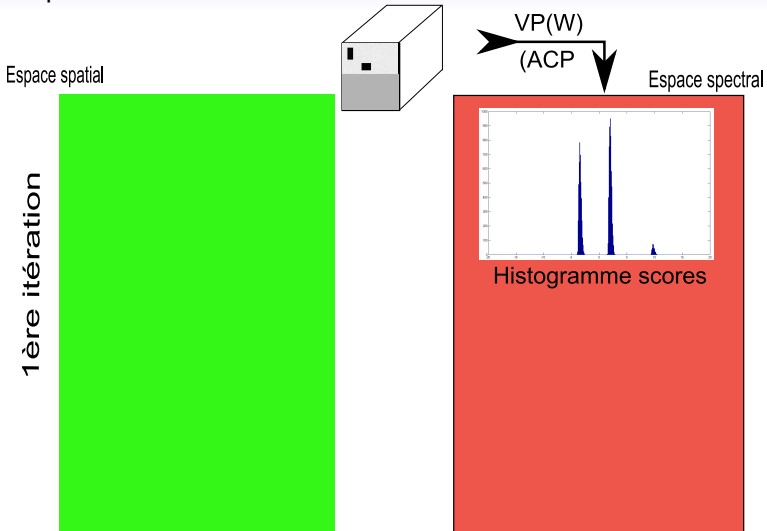


Illustration du fonctionnement du Papillon

Étape de division

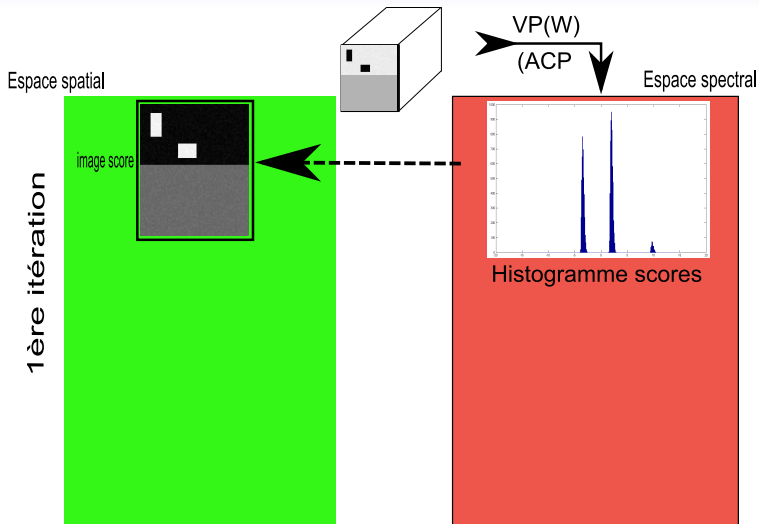


Illustration du fonctionnement du Papillon

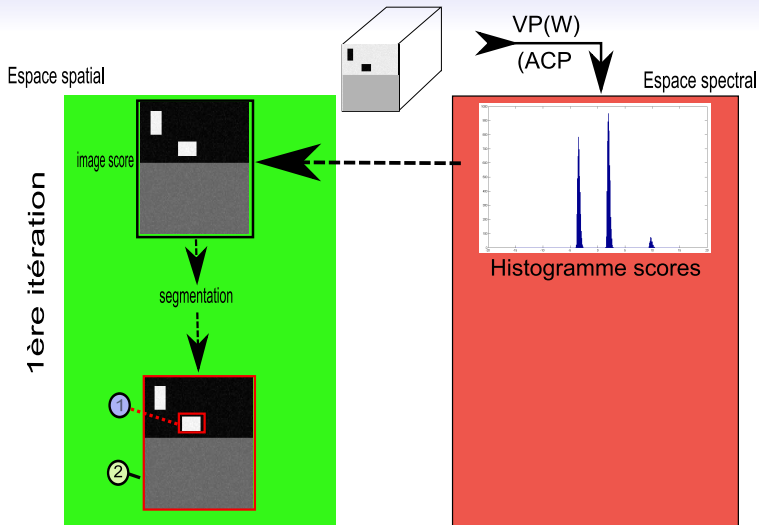


Illustration du fonctionnement du Papillon

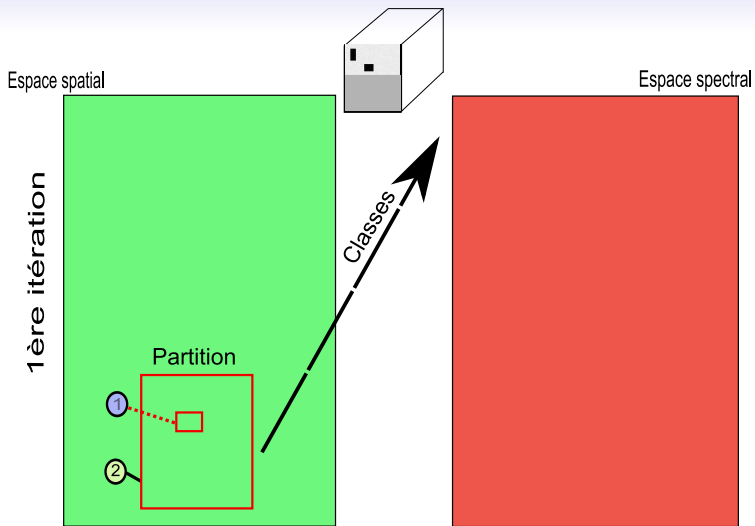
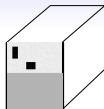


Illustration du fonctionnement du Papillon

Espace spatial



$VP(W)$

Espace spectral

2ème itération

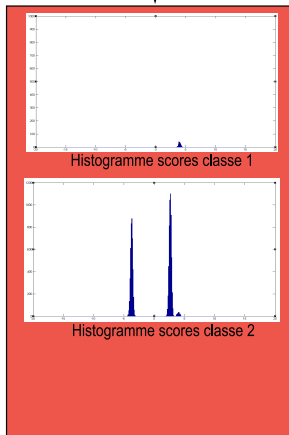
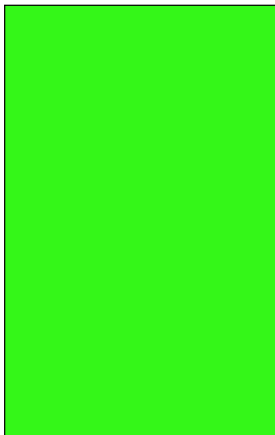
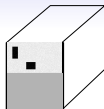


Illustration du fonctionnement du Papillon

Espace spatial

Espace spectral



2ème itération

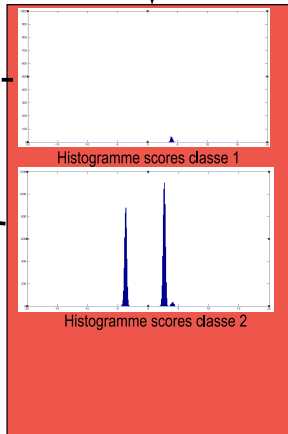
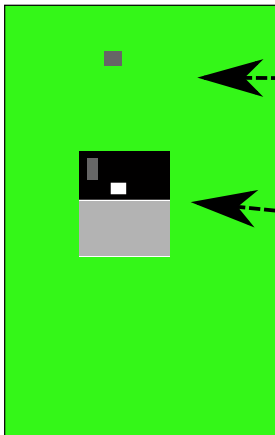


Illustration du fonctionnement du Papillon

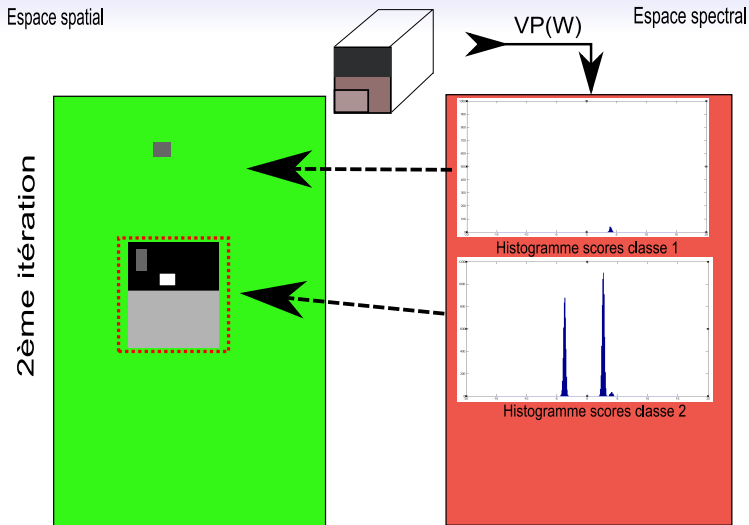
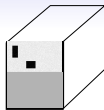


Illustration du fonctionnement du Papillon

Espace spatial

 $VP(W)$

Espace spectral

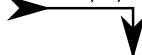
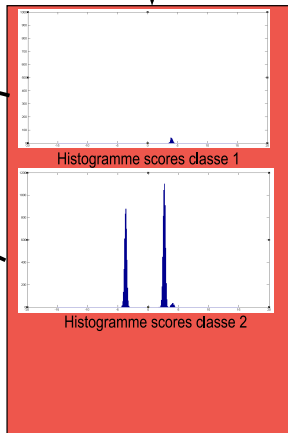
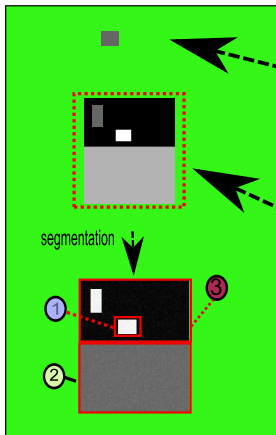
2^{ème} itération

Illustration du fonctionnement du Papillon

Espace spatial

Espace spectral

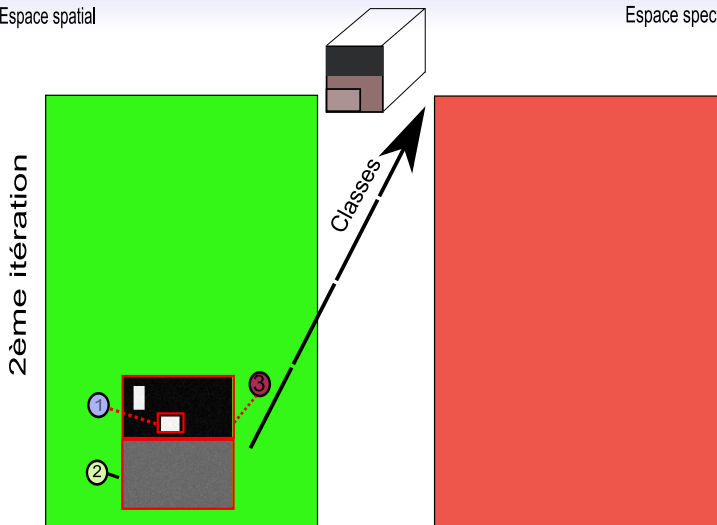
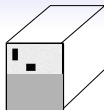


Illustration du fonctionnement du Papillon

Espace spatial



$VP(W)$

Espace spectral

2ème itération

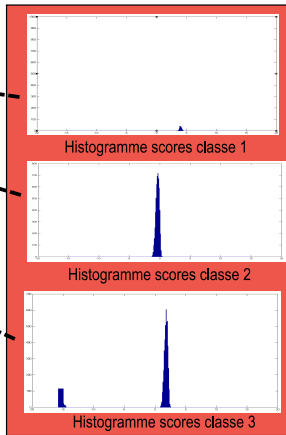
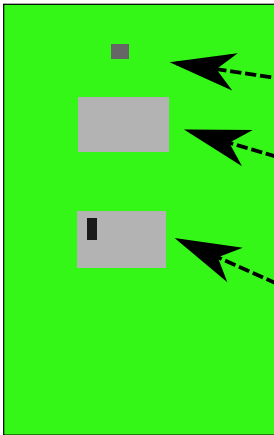
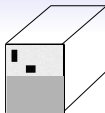


Illustration du fonctionnement du Papillon

Espace spatial

Espace spectral



2ème itération

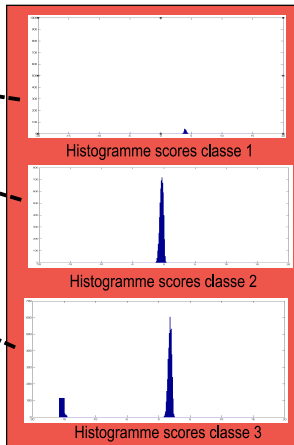
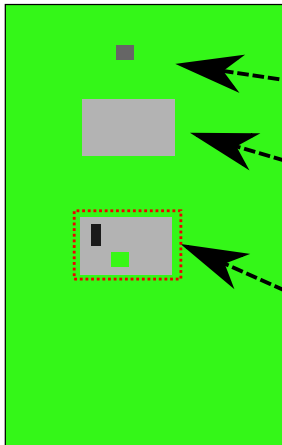


Illustration du fonctionnement du Papillon

Espace spatial

Espace spectral

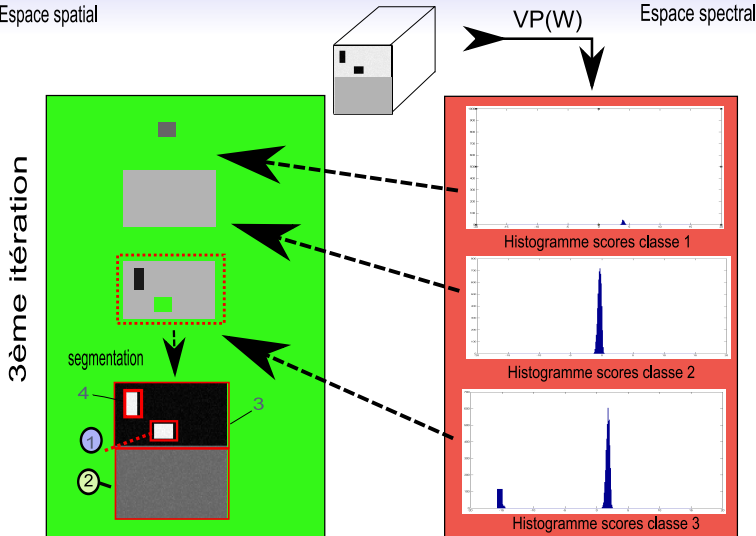


Illustration du fonctionnement du Papillon

Espace spatial

Espace spectral

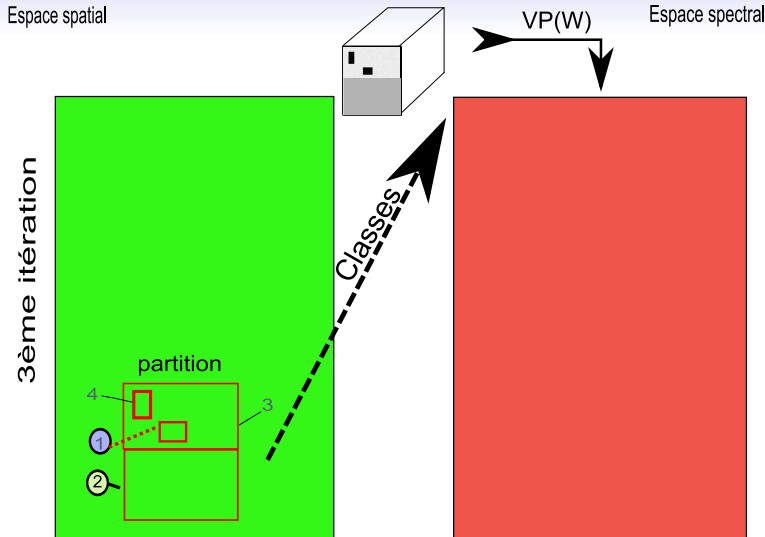
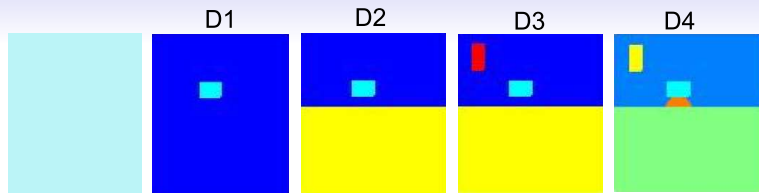
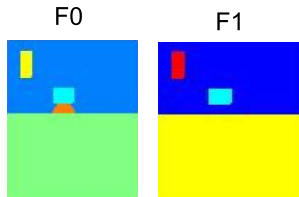


Illustration du fonctionnement du Papillon



(a) Etapes de division



(b) Etapes de fusion

Plan de la présentation

1 Mise en contexte du sujet de thèse

- Contexte et enjeux
- Quels outils ?
- L'imagerie hyperspectrale

2 Problématique et Objectifs

- Cadre général
- Déclinaison

3 Validation et Résultats

- Introduction
- Un exemple simple
- Application

4 Conclusion et Perspectives

Image réelle (proxi-détection)

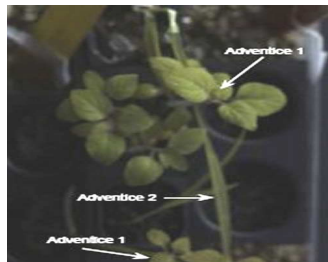


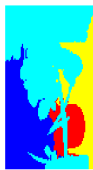
Image réelle (proxi-détection)



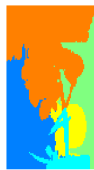
Division 1
(2 régions)



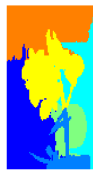
Division 2
(3 régions)



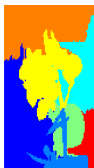
Division 3
(4 régions)



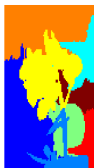
Division 4
(5 régions)



Division 5
(6 régions)



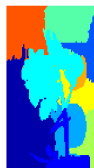
Division 6
(7 régions)



Division 7
(8 régions)

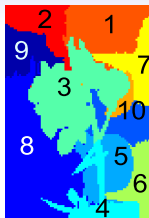


Division 8
(9 régions)

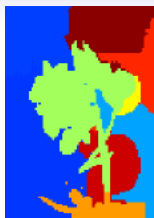


Division 9
(10 régions)

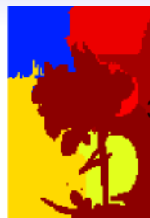
Image réelle (proxi-détection)



fin division
(10 régions)



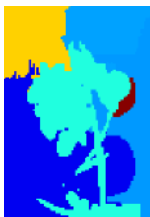
Fusion 1



Fusion 2



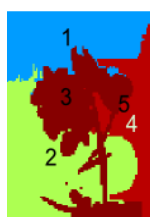
Fusion 3



Fusion 4



Fusion 5



Fusion 6

Conclusion

Proposition d'une approche **générique** de segmentation non supervisée d'IHS :

- Décomposer la complexité : approche itérative,
- Utilisation dans chaque espace d'outils simples et dédiés,
- Collaboration spectro-spatiale :
 - Construction d'une topologie sur un SEV,
 - Construction d'un SEV à partir d'une topologie.

Déclinaison de ce schéma générique : notions de voisinage et d'adjacence

- Collaboration spectro-spatiale :
 - Construction d'une partition sur un SEV,
 - Construction d'un SEV connaissant une partition.
- Préconisations sur le choix des paramètres
 - Nombre de variables latentes,
 - Nombre de coupe/fusion à chaque pas.

Conclusion

Bilan

- Approche générique,
- Respect du cahier des charges initial,
 - Outils dédiés à chacun des espace,
 - Dépendance,
 - Équilibre.
- Bons résultats sur images réelles :
 - Proxi-détection,
 - aéroportée.

Perspectives

Perspectives à court terme :

- Test à plus grande échelle et de manière quantitative,
- Critère d'arrêt
 - Évolution de Λ de Wilks,
 - Stabilité des vecteurs propres...
- Choix des approches de segmentation en région,
 - Approche Quadtree,
 - Approche par coupes normalisées,
 - Approche LPE modifiée.
- Coûts algorithmiques, gestion mémoire.

Perspectives à long terme

- Faire vivre le papillon : imaginer d'autres déclinaisons du schéma
 - Autres notions topologiques
 - Choix outils spectraux,
 - Choix outils spatiaux.
 - Ajout de contraintes (ex :forme).
- Adaptation du papillon à des problématiques données :
 - Recherche rang de vigne,
 - Recherche fruits au sein de la végétation...