





Segmentation sémantique de peuplements forestiers à partir d'imagerie optique et de données Lidar aéroportées

Quels capteurs pour quelle fusion?

Clément DECHESNE, <u>Arnaud LE BRIS</u>, Clément MALLET, Valérie GOUET-BRUNET IGN / LaSTIG / MATIS

arnaud.le-bris@ign.fr

Contexte

IIGNI

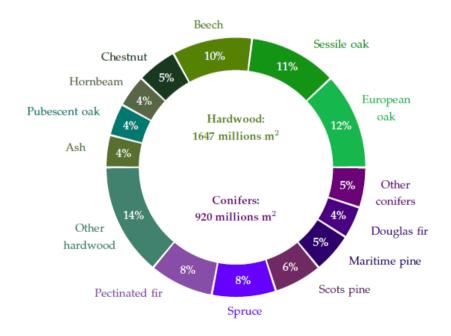
Décrire la forêt

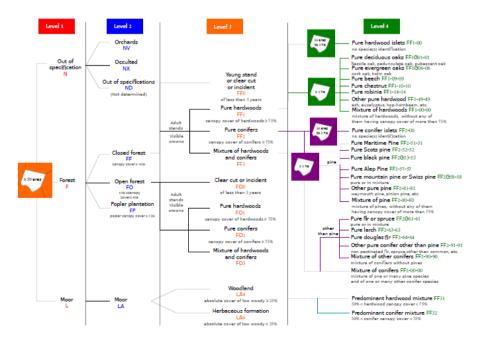
Peuplement forestier : zone de forêt aux caractéristiques spécifiques (hauteur, essence, maturité, ...)

Décrire la forêt

Peuplement forestier : zone de forêt aux caractéristiques spécifiques (hauteur, essence, maturité, ...)

- Peuplement fondé sur l'essence
- Nomenclature hiérarchique
- Nomenclature intégrant à la fois classes pures et classes mixtes
- Forêt française assez diverses → 20 classes





Décrire la forêt

Peuplement forestier : zone de forêt aux caractéristiques spécifiques (hauteur, essence, maturité, ...)

- Peuplement fondé sur l'essence
- Nomenclature hiérarchique
- Nomenclature intégrant à la fois classes pures et classes mixtes
- Forêt française assez diverses → 20 classes
- Base de données généralisée,
 - Frontières droites,
 - Polygones purs à 75%.

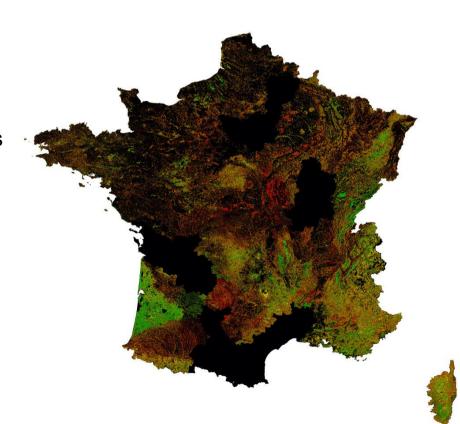


liGN

Décrire la forêt

Peuplement forestier : zone de forêt aux caractéristiques spécifiques (hauteur, essence, maturité, ...)

- Peuplement fondé sur l'essence
- Nomenclature hiérarchique
- Nomenclature intégrant à la fois classes pures et classes mixtes
- Forêt française assez diverses → 20 classes
- Base de données généralisée,
 - Frontières droites,
 - Polygones purs à 75%.
- Saisie initiale encore en cours, mais déjà ancienne sur certains départements
- Saisie par photo-interprétation

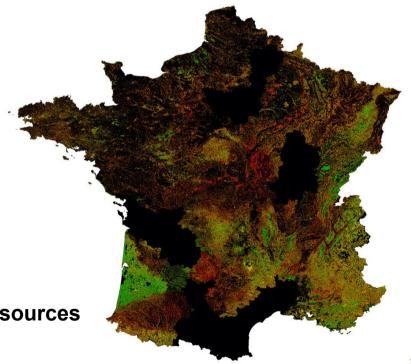


IGN

Décrire la forêt

Peuplement forestier : zone de forêt aux caractéristiques spécifiques (hauteur, essence, maturité, ...)

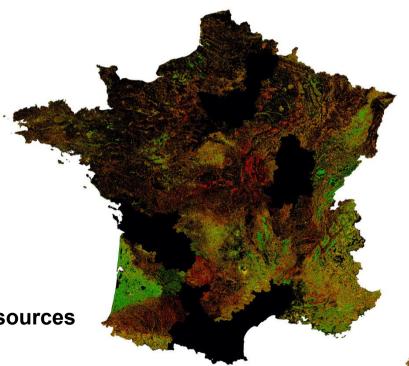
- Peuplement fondé sur l'essence
- Nomenclature hiérarchique
- Nomenclature intégrant à la fois classes pures et classes mixtes
- Forêt française assez diverses → 20 classes
- Base de données généralisée,
 - Frontières droites,
 - Polygones purs à 75%.
- Saisie initiale encore en cours, mais déjà ancienne sur certains départements
- Saisie par photo-interprétation
- → Automatisation ? Télédétection ?
 - → Favoriser la mise à jour
 - → Enrichir la base de données
 - → Alimenter un inventaire statistique multisources



Décrire la forêt

Peuplement forestier : zone de forêt aux caractéristiques spécifiques (hauteur, essence, maturité, ...)

- Peuplement fondé sur l'essence
- Nomenclature hiérarchique
- Nomenclature intégrant à la fois classes pures et classes mixtes
- Forêt française assez diverses → 20 classes
- Base de données généralisée,
 - Frontières droites,
 - Polygones purs à 75%.
- Saisie initiale encore en cours, mais déjà ancienne sur certains départements
- Saisie par photo-interprétation
- → Automatisation ? Télédétection ?
 - → Favoriser la mise à jour
 - → Enrichir la base de données
 - → Alimenter un inventaire statistique multisources

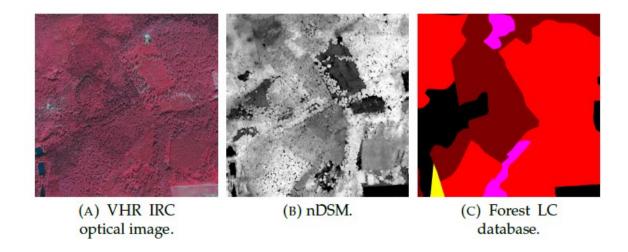




IIGNI

Quels capteurs?

- Télédétection multimodale
- Utilisation d'images optiques et de nuages de points Lidar
 - Complémentarité
 - Lidar → géométrie, structure
 - Imagerie optique → essence, état



Quels capteurs?

- Télédétection multimodale
- Utilisation d'images optiques et de nuages de points Lidar
 - Complémentarité
 - Lidar → géométrie, structure
 - Imagerie optique → essence, état
 - Données acquises par l'IGN sur les grandes zones forestières
 - Lidar:
 - Optech ALTM 3100 ou Leica ALS 60
 - empreinte de 80 cm, 2 à 4 points / m²
 - Imagerie optique :
 - BD Ortho (R V B PIR)
 - résolution spatiale : 50 cm

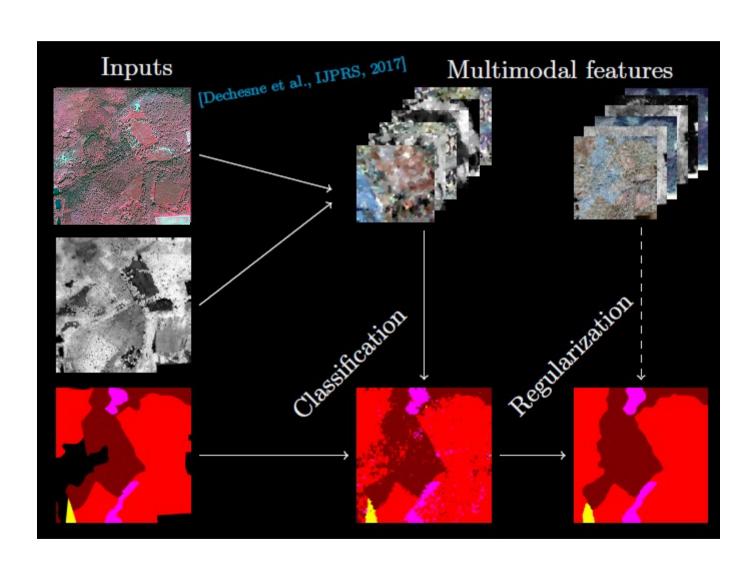
Quels capteurs?

- Télédétection multimodale
- Utilisation d'images optiques et de nuages de points Lidar
 - Complémentarité
 - Lidar → géométrie, structure
 - Imagerie optique → essence, état
 - Données acquises par l'IGN sur les grandes zones forestières
 - Lidar:
 - Optech ALTM 3100 ou Leica ALS 60
 - empreinte de 80 cm, 2 à 4 points / m²
 - Imagerie optique :
 - BD Ortho (R V B PIR)
 - résolution spatiale : 50 cm
 - → Comment fusionner ces informations?

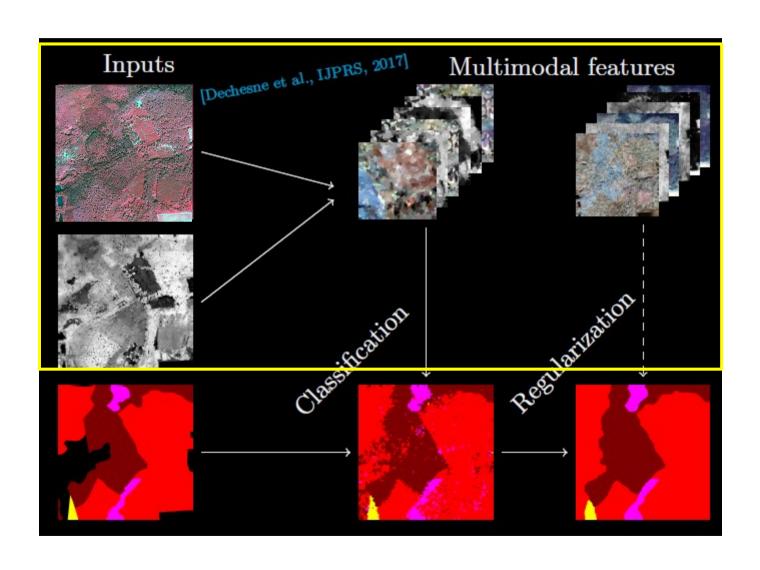
[Thèse Clément Dechesne, 2017]

Méthode proposée

Stratégie

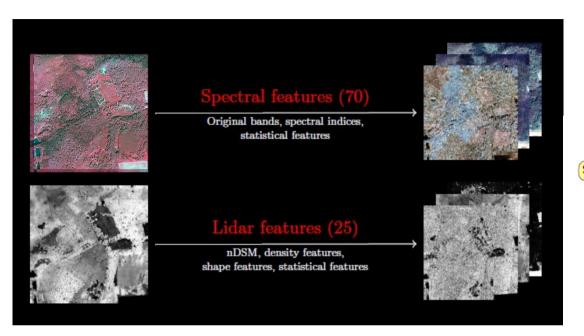


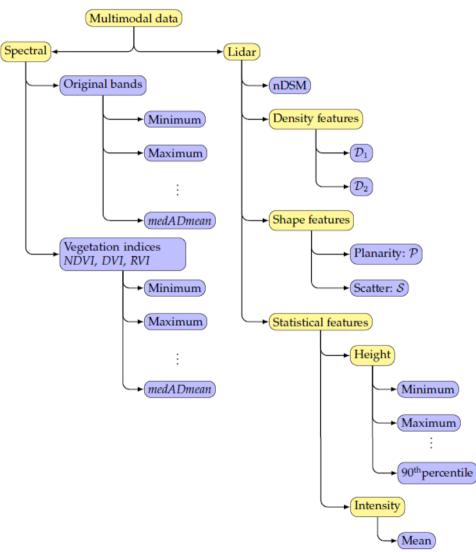
Calcul d'attributs (pixel et objet)



IIGNI

Calcul d'attributs pixel





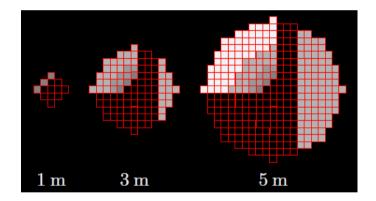
Calcul d'attributs optique

Attributs calculés à partir :

- des bandes originales (R V B PIR)
- d'indices de végétation (NDVI, DVI et RVI)

Attributs statistiques

• calculés sur 3 voisinages de 1m, 3m et 5m, puis moyennés



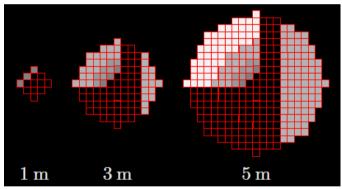
Calcul d'attributs optique

Attributs calculés à partir :

- des bandes originales (R V B PIR)
- d'indices de végétation (NDVI, DVI et RVI)

Attributs statistiques

• calculés sur 3 voisinages de 1m, 3m et 5m, puis moyennés





RVB original

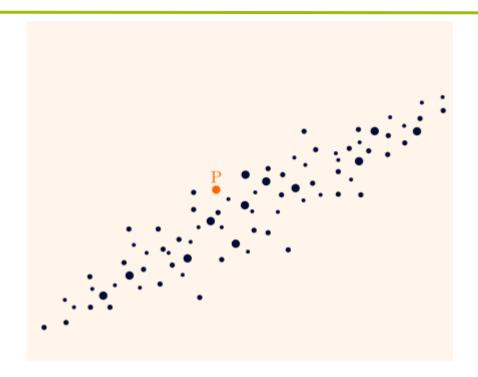


RVB minimum

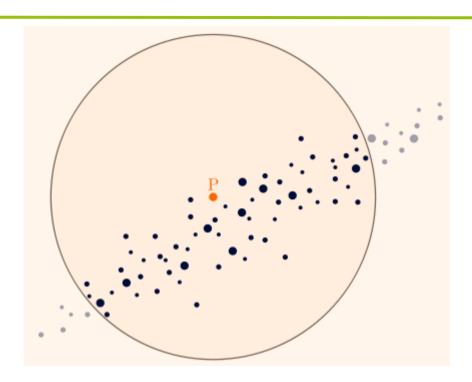


RVB écart-type

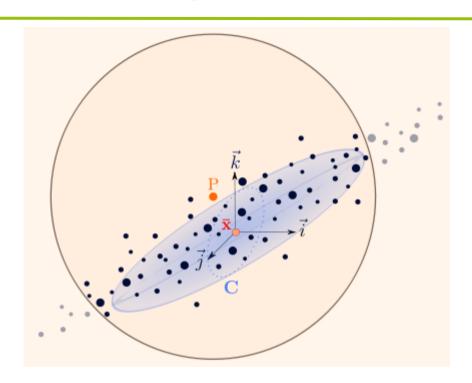


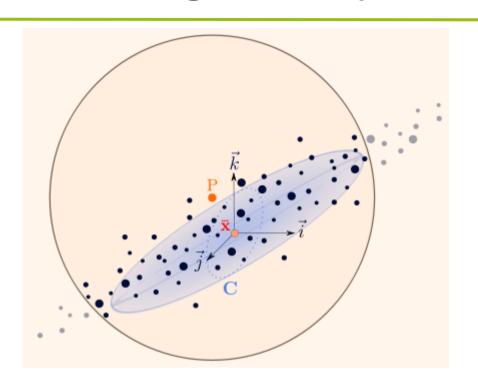


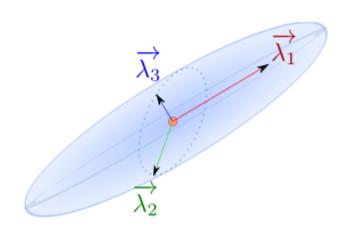












Eigenvalues : $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3 > 0$.

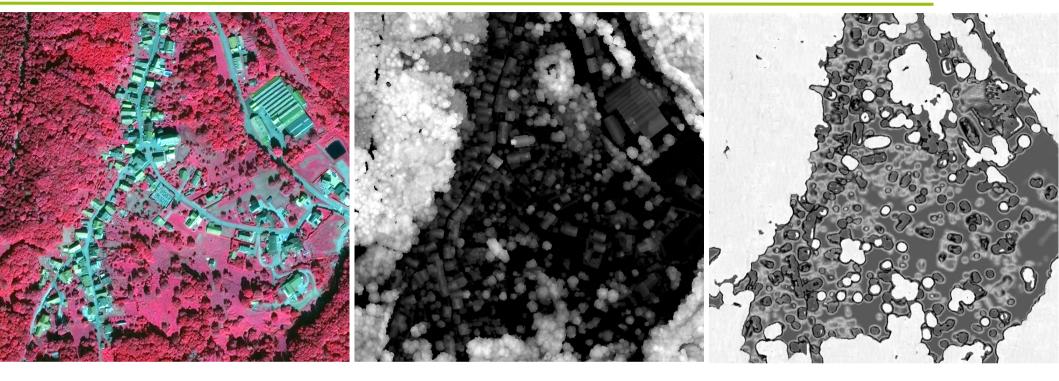
$$\sigma_j = \sqrt{\lambda_j}$$
 $(j \in [1,3])$

 σ_i = the *standard deviation* along eigenvectors $\overrightarrow{v_i}$.

 σ_i = lengths of the semi-axes.

 σ_i = geometrical features. \rightarrow dimensionality features.

Dérivation d'attributs Lidar



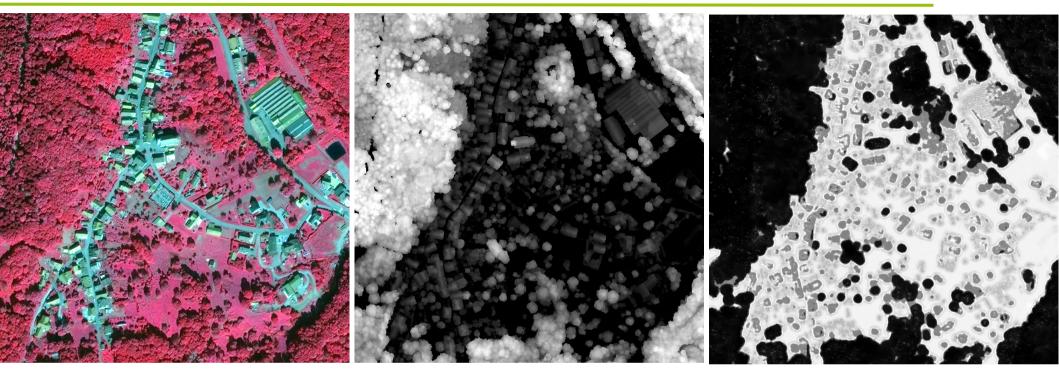
BD Ortho IRC Lidar : Z Lidar : scatter

$$\mathcal{S} = \frac{1}{3} \sum_{r \in \{1,3,5\}} \frac{\lambda_{3,r}}{\lambda_{1,r}}$$

where $\lambda_{1,r} \geq \lambda_{2,r} \geq \lambda_{3,r}$ are the eigenvalues of the covariance matrix within the cylindrical neighborhood of radius r.

IIGNI

Dérivation d'attributs Lidar



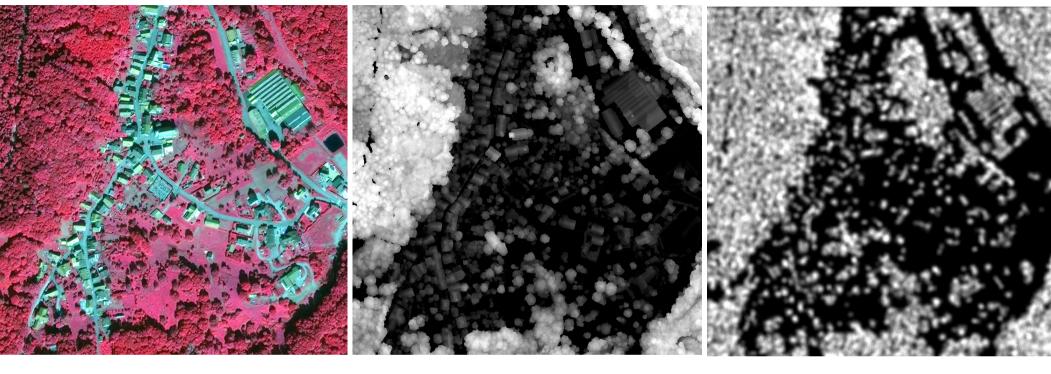
BD Ortho IRC Lidar : Z Lidar : planarity

$$\mathcal{P} = \frac{1}{3} \sum_{r \in \{1,3,5\}} 2 \times (\lambda_{2,r} - \lambda_{3,r}),$$

where $\lambda_{1,r} \geq \lambda_{2,r} \geq \lambda_{3,r}$ are the eigenvalues of the covariance matrix within the cylindrical neighborhood of radius r.

IGN

Dérivation d'attributs Lidar



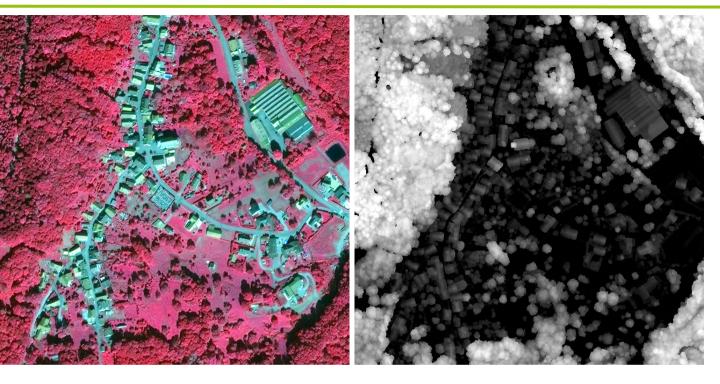
BD Ortho IRC Lidar : Z Lidar : densité

$$\mathcal{D}_1 = \sum_{r_1 \in \{1,3,5\}} \sum_{r_2 \in \{1,3,5\}} Nt_{r_1,r_2}$$

 Nt_{r_1,r_2} is the number of local maxima retrieved from a r_1 maximum filter within the cylindrical neighborhood of radius r_2 .

IIGNI

Dérivation d'attributs Lidar et spectraux

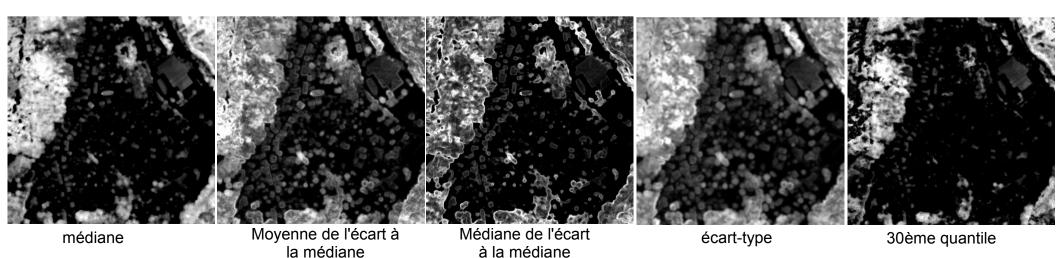


BD Ortho IRC Lidar : Z

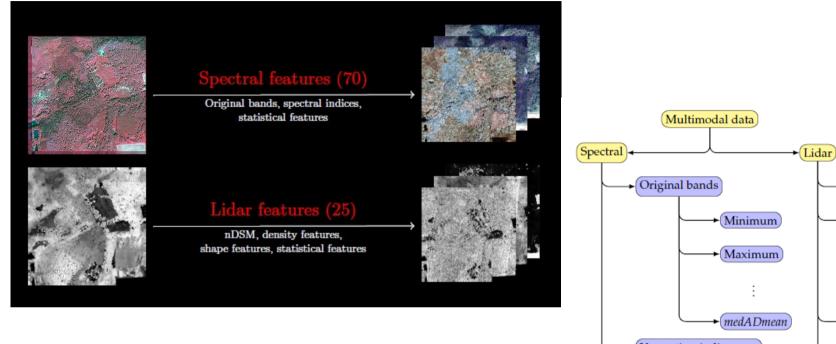
Autres statistiques calculées sur 3 voisinages cylindriques de rayons 1, 3 et 5 m...

Idem pour le multispectral (à partir des canaux bruts + indices de végétation)

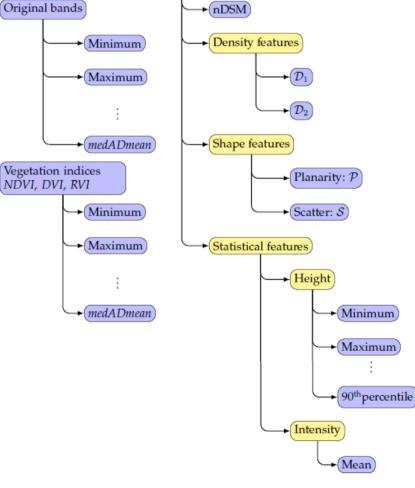
→ 25 attributs Lidar

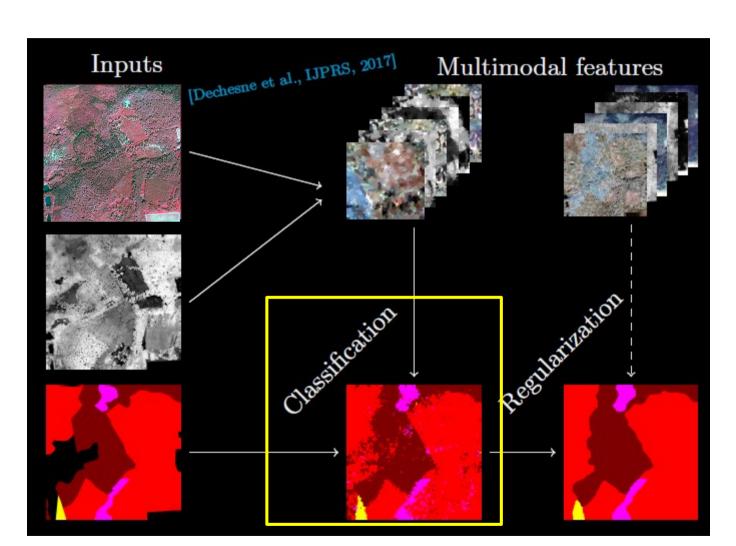


Calcul d'attributs objet



Attributs objet calculés (moyenne)
 en croisant attributs pixel avec une sursegmentation





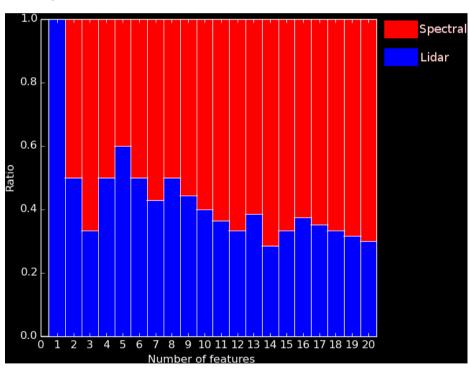
- Classification supervisée par RF
- Apprentissage à partir des peuplements "purs" de la BDForêt, gestion de la non pureté

Classification: sélection d'attributs

→ **94 attributs objet**: 24 Lidar et 70 spectraux

Sélection d'un jeu optimisé de 20 attributs pour la classification à partir de zones tests différentes (Vosges, Landes, Ventoux)

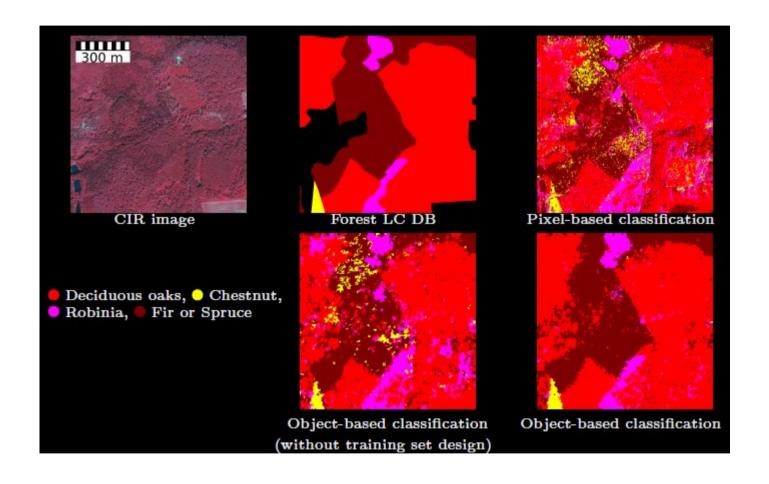
- \rightarrow 60 % Lidar / 40 % spectral
 - → complémentarité des 2 sources



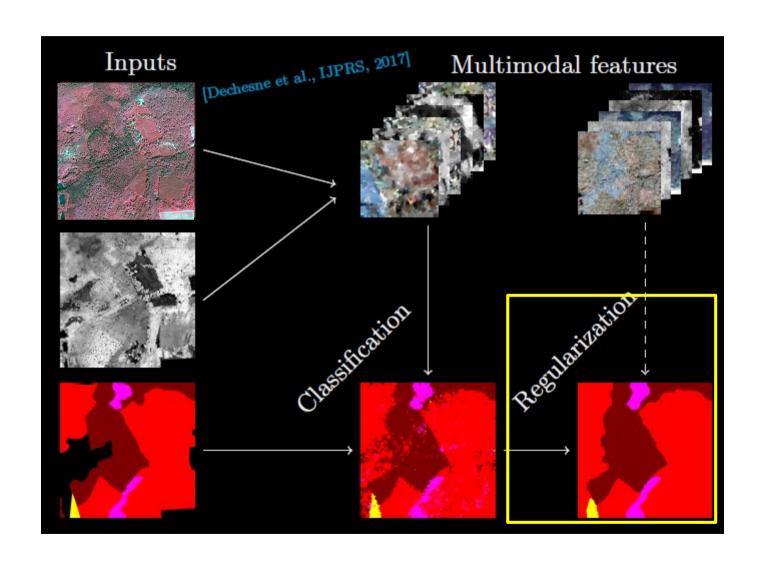
Attributs les plus intéressants :

- Spectral:
 - bandes : PIR, R, V;
 - Attributs : minimum, maximum, médiane et moyenne.
- Lidar:
 - Attributs : intensité, maximum, écart-type et densités.

Exemple de résultats obtenus



Régularisation





Régularisation

Objectif: trouver la configuration (classification) C qui minimise l'énergie E pour l'image I

(Résolution par graph-cut (algorithme QPBO) [Kolmogorov 2007])

$$E(C) = \sum_{u \in I} E_{data}(C(u)) + \gamma \sum_{u \in I, v \in N(u)} E_{regul}(C(u), C(v))$$

u,v: pixels de l'image I

N(u) : voisinage en connexité 8 de u

 ${\mathcal Y}$: paramètre de lissage

$$E_{data}(C(u))=1-P(C(u))$$

$$E_{regul}(C(u)=C(v))=0$$

$$E_{regul}(C(u) \neq C(v)) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} e^{-|A_i(u) - A_i(v)|}$$

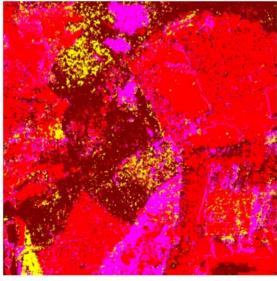
 $A_i(u)$: valeur en u de l'attribut i

Exemples de résultats

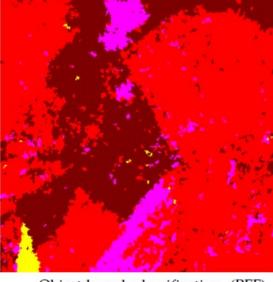


IRC VHR optical image.

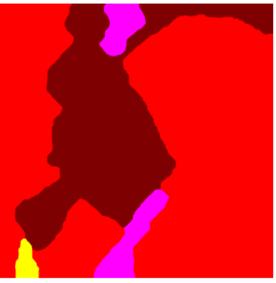




Pixel-based classification (overall accuracy: 70.48%, κ : 0.50).



Object-based classification (PFF) (overall accuracy: 90.22%, κ : 0.81).



Regularization (overall accuracy: 96.58%, κ : 0.93).

Exemples de résultats



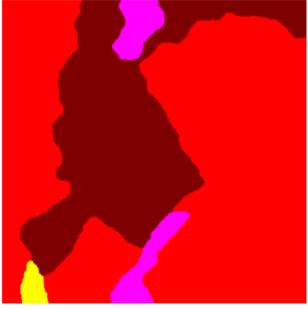
IRC VHR optical image.



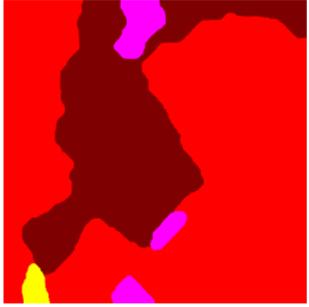
Forest LC.



(C) Regularization ($\gamma = 5$, overall accuracy: 97.4, κ : 0.95).



0.95).



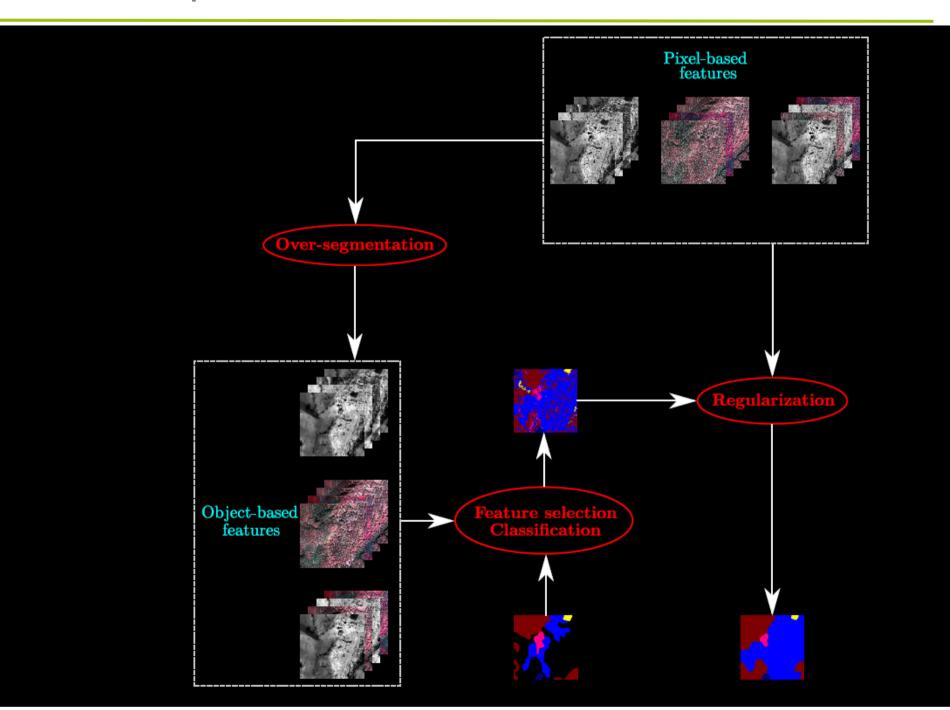
(D) Regularization ($\gamma = 10$, overall accuracy: 97.44, κ : (E) Regularization ($\gamma = 15$, overall accuracy: 97.06, κ : 0.94).

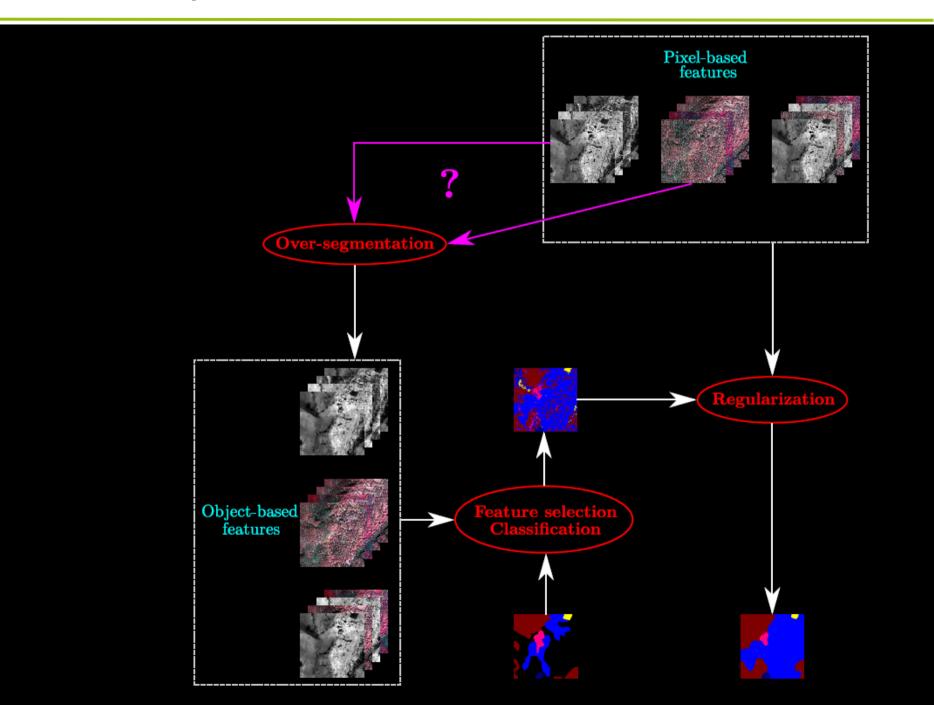
Evaluer?

- Evaluation quantitative par rapport à la BD Forêt.
- Lissage / généralisation :
 - peuplements homogènes de taille significative
 - lissage des frontières.

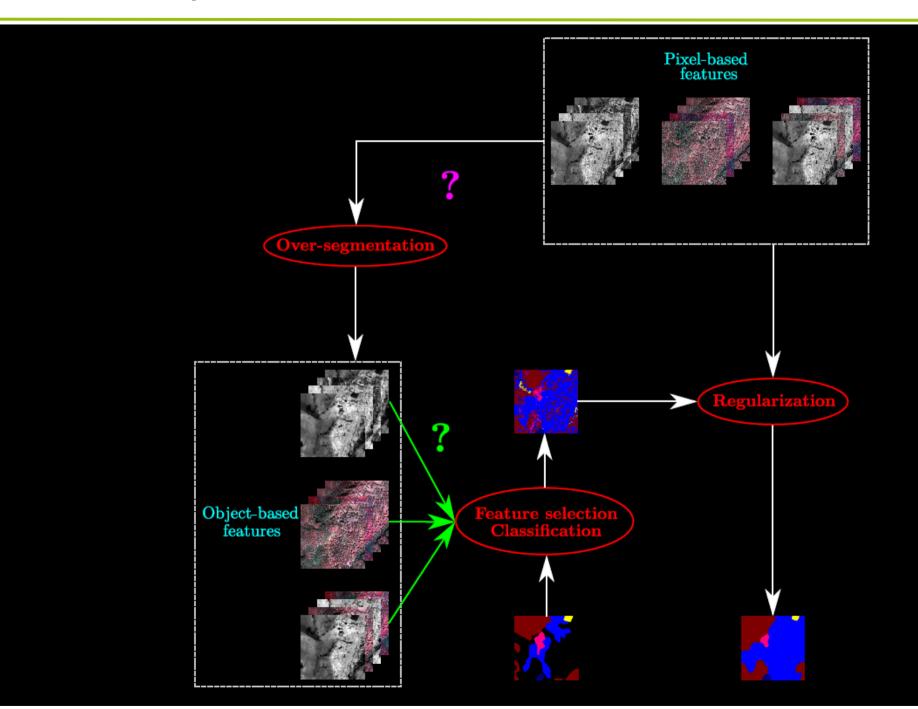
Une fusion possible à différents niveaux

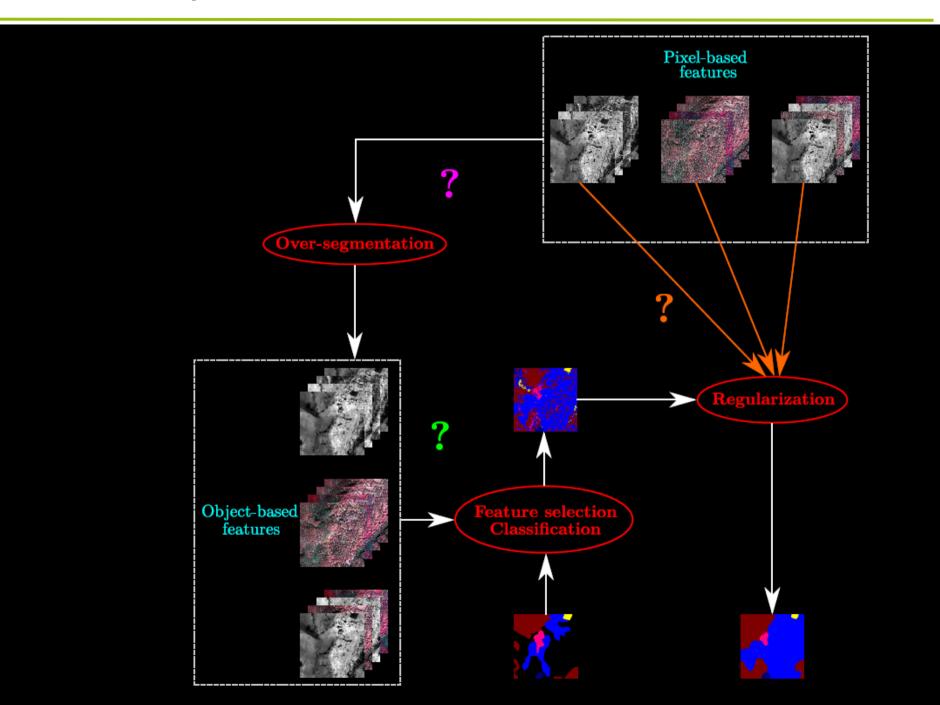
Fusion possible à différents niveaux

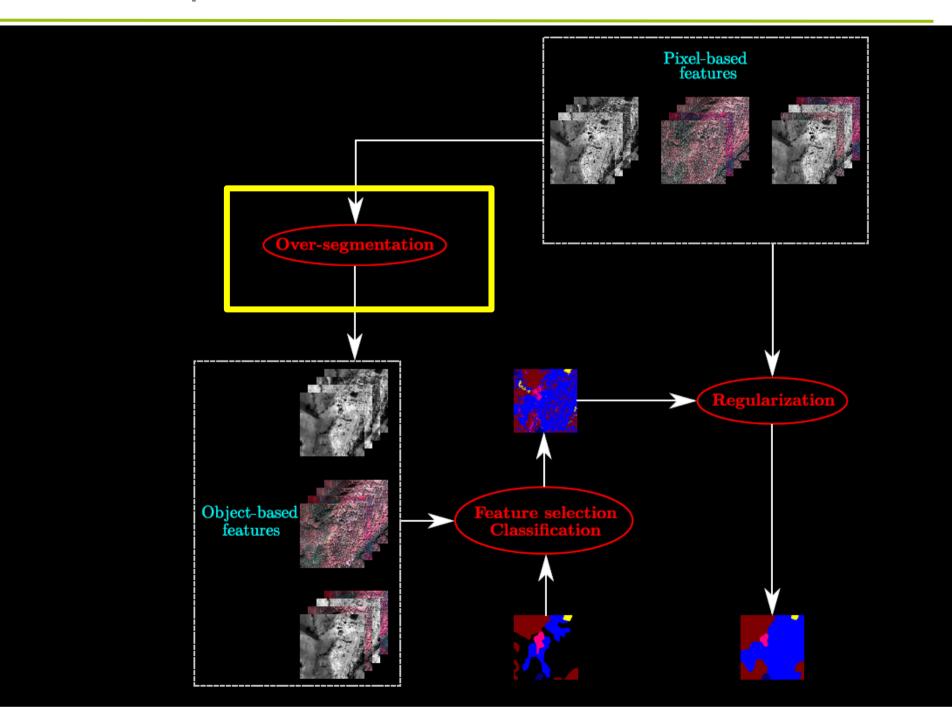




liGN



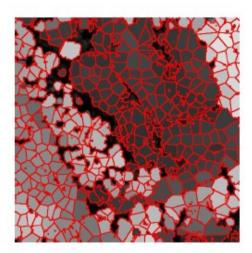




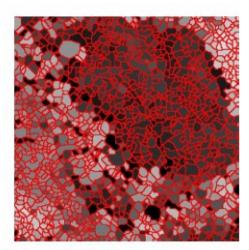
IIGNI

Quelle(s) source(s) pour la sur-segmentation ?

Lidar seul

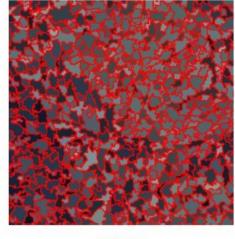


Tree extraction [Dechesne, 2017]

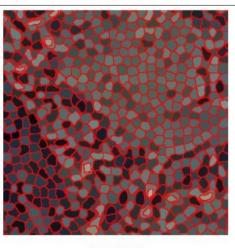


Hierarchical segmentation [Guigues, 2006]

Spectral seul



PFF [Felzenszwalb, 2004]



SLIC [Achanta, 2012]

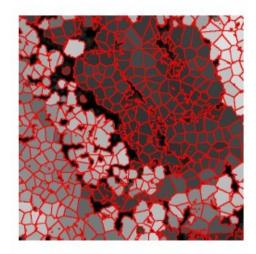
[Dechesne 2017]



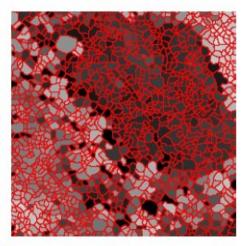
Quelle(s) source(s) pour la sur-segmentation ?

Lidar + spectral pour les étapes suivantes (classification et régularisation)

Lidar seul

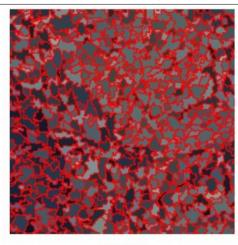


Tree extraction
[Dechesne, 2017]
Classif: 81.9 % - Regul: 94.1 %

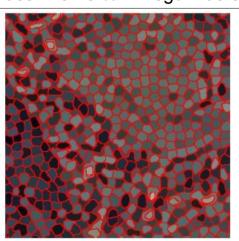


Hierarchical segmentation [Guigues, 2006] Classif: 81.8 % - Regul: 95.8 %

Spectral seul



PFF [Felzenszwalb, 2004] Classif: 87.6 % - Regul: 96.2 %



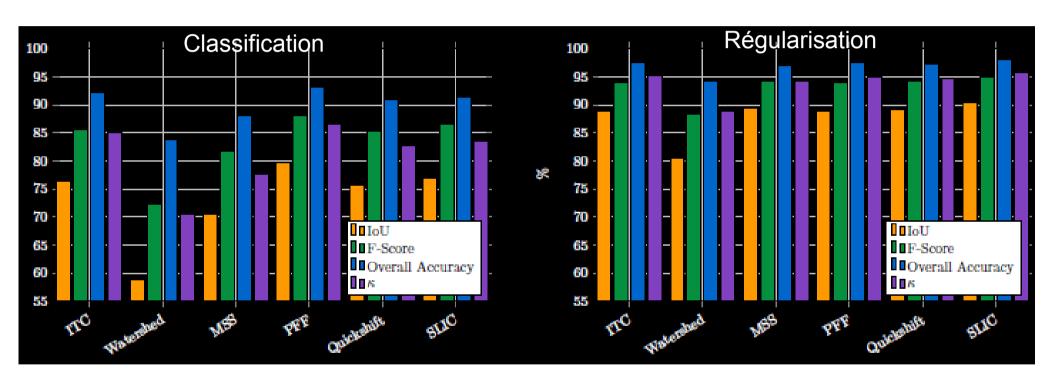
un peu meilleur

SLIC [Achanta, 2012] Classif: 86.5 % - Regul: 95.7 %

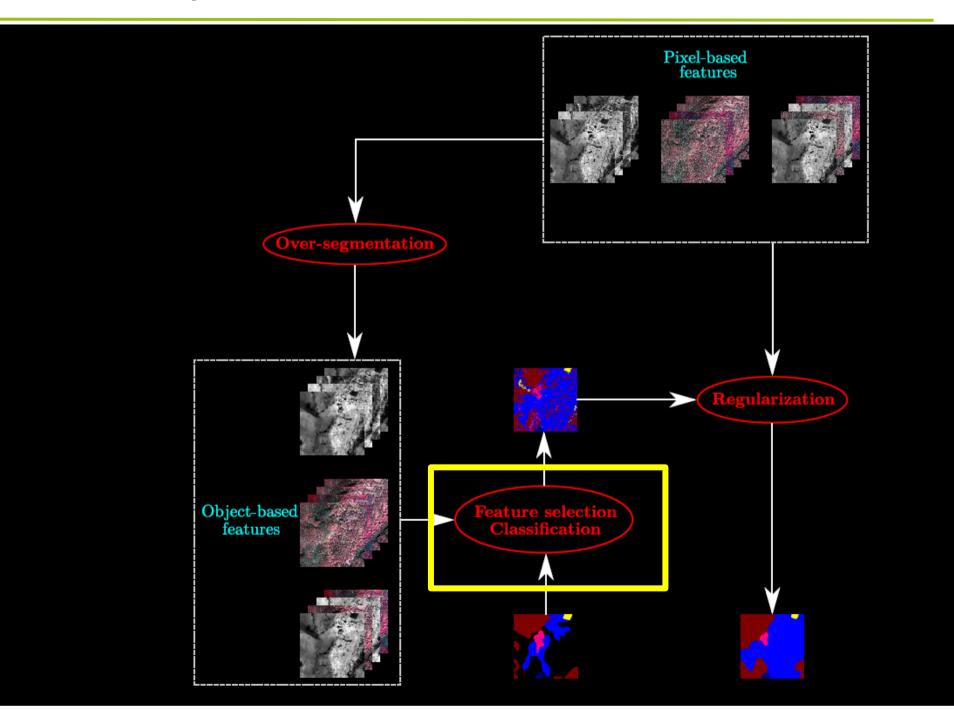
[Dechesne 2017]

IIGNI

Quelle(s) source(s) pour la sur-segmentation ?



Impact faible à l'issue de la régularisation

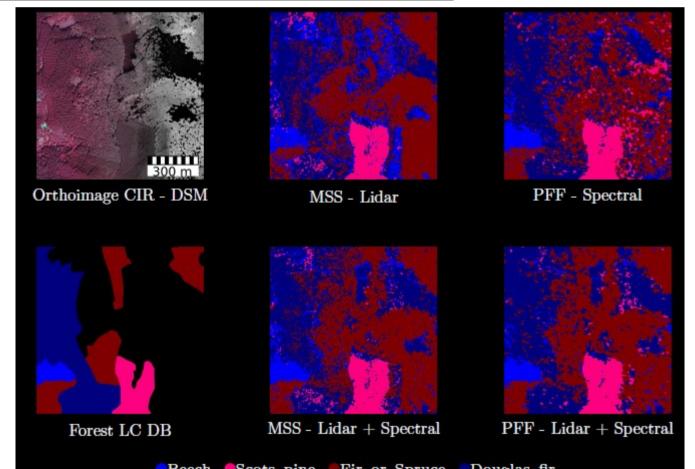


liGN

Quelle(s) source(s) pour la classification ?

Qualité de la classification selon la donnée en entrée

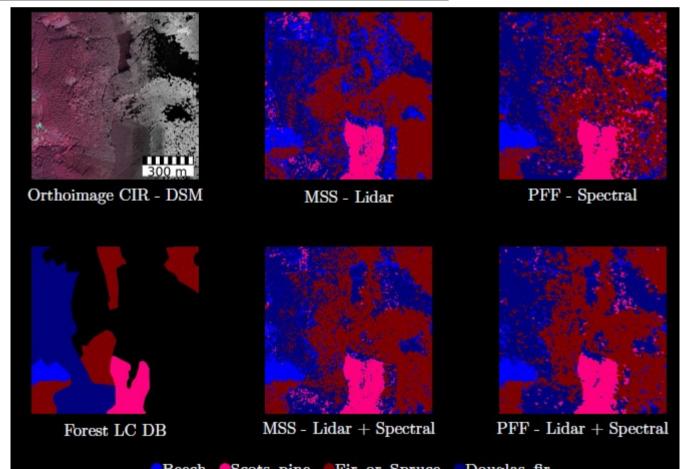
	Classification accuracy
MSS - Lidar	74.4%
PFF - Spectral	84.7%
MSS - $Lidar$ + $Spectral$	80.6%
PFF - $Lidar$ + $Spectral$	88.3%

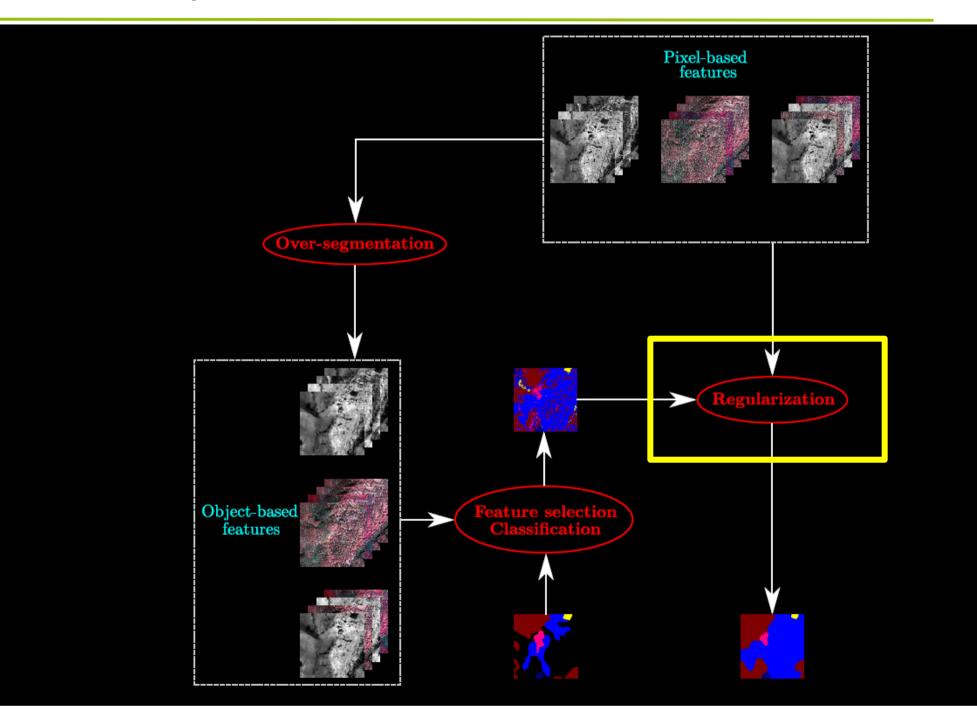


Quelle(s) source(s) pour la classification ?

Qualité de la classification selon la donnée en entrée

	Classification accuracy		
MSS - Lidar	74.4%	—	Pas très bon
PFF - Spectral	84.7%		Satisfaisant
MSS - $Lidar$ + $Spectral$	80.6%		
PFF - $Lidar$ + $Spectral$	88.3%	>	Meilleur résultat







Quelle(s) source(s) pour la régularisation ?

Etapes précédentes :

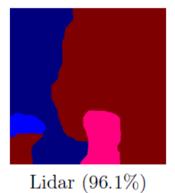
- Sur-segmentation : Spectral par PFF
- Classification : Lidar + Spectral

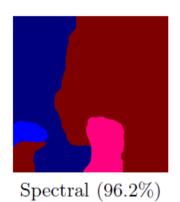


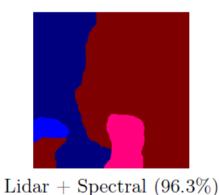
Orthoimage IRC - DSM



Forest LC database





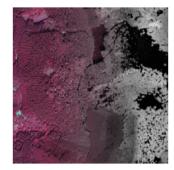




Quelle(s) source(s) pour la régularisation ?

Etapes précédentes :

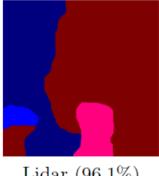
- Sur-segmentation: Spectral par PFF
- Classification: Lidar + Spectral



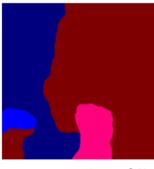
Orthoimage IRC - DSM $\,$



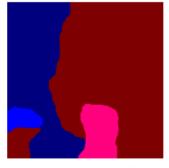
Forest LC database







Spectral (96.2%)



Lidar + Spectral (96.3%)

beech, ○ robinia, ● fir or spruce, ● Douglas fir, ● no data.

→ Résultats de régularisation similaires

[Dechesne 2017]

IIGNI

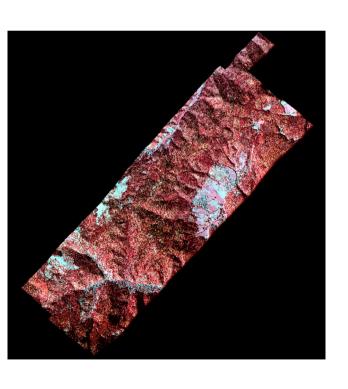
- Sur-segmentation → impact de la source de données faible à l'issue de la régularisation
- Classification → meilleurs résultats en utilisant les 2 sources.
 A défaut, optique meilleur que Lidar
- Régularisation → impact faible de la source de données sur le terme de sensibilité au contraste

Capteurs plus riches?

Quel serait l'apport de capteurs plus riches ?

Acquisition simultanée **Lidar haute densité + Hyperspectra**l (partenariat IGN + ONERA)

Données acquises sur les Vosges réalisée en octobre 2015



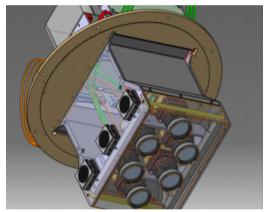
- Lidar → capteur LEICA ALS 60 densité = 40 points/m²
 - → Possibilité de simuler des densités plus faibles moyenne (20 pts/m²) et faible (4 pts/m²)
 - Hyperspectral → capteur HySpex:
 160 bandes VNIR (400-1000 nm)
 + 256 bandes SWIR (1000-2400 nm)
 - résolution spatiale = 1,4 m

 → Possibilité de simuler d'autres configurations spectrales : multispectral (configuration Pléiades) et

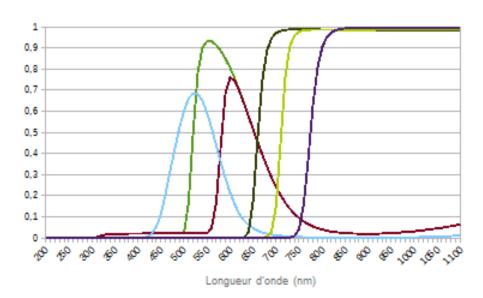
superspectral.

Caméra superspectrale

- Assemblage de 6 têtes de caméra CamLight du LaSTIG/LOEMI (IGN)
- Filtre spectral spécifique pour chaque tête
- Choix des filtres effectués à partir d'un catalogue de filtres disponibles
 Compromis trouvé pour plusieurs problèmes de classification
 (4 problèmes : urbain/forêt, mesures terrain ou labo / acquisitions aéroportées)







Filtres sélectionnés

Quel serait l'apport de capteurs plus riches ?

Acquisition simultanée Lidar haute densité + Hyperspectral (partenariat IGN + ONERA)

Données acquises sur les Vosges réalisée en octobre 2015

		20 pts / m²	4 pts / m²
Donnée brute (Pas d'attributs statistiques)	Lidar Images	Medium density	Low density
	Hyperspectral VNIR+SWIR	HS+MD: 416+25	HS+LD: 416+25
Attributs statistiques uniquement à partir des canaux originaux	Hyperspectral VNIR	HV+MD: 160+25	HS+LD: 160+25
	Superspectral	S+LD: 60+25	S+HD: 60+25
	Multispectral	M+LD: 70+25	M+LD: 70+25
Attributs statistiques à partir des canaux originaux et des indices de végétation			

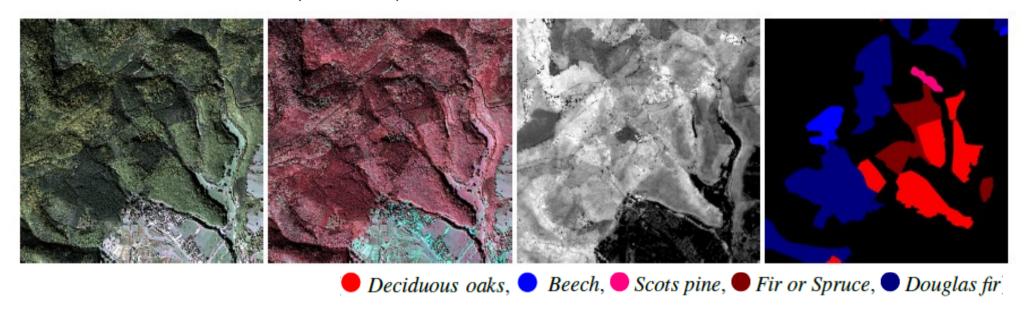
Mais travail sur une sélection de 20 attributs dans les différents cas.

Quel serait l'apport de capteurs plus riches ?

Acquisition simultanée Lidar haute densité + Hyperspectral (partenariat IGN + ONERA)

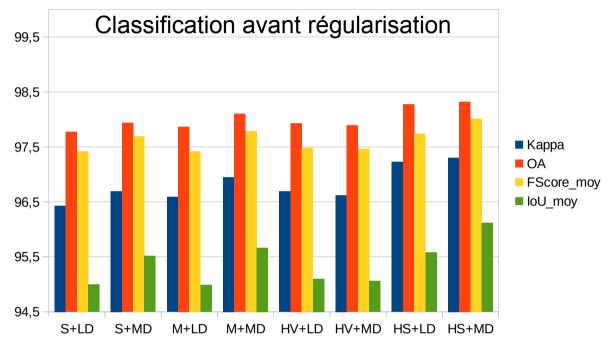
Données acquises sur les Vosges réalisée en octobre 2015

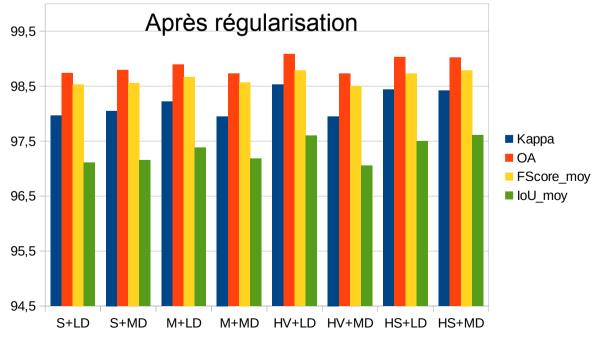
Test sur une zone de 2,5 km x 2,5 km



IGN

Résultats





IGN

Résultats

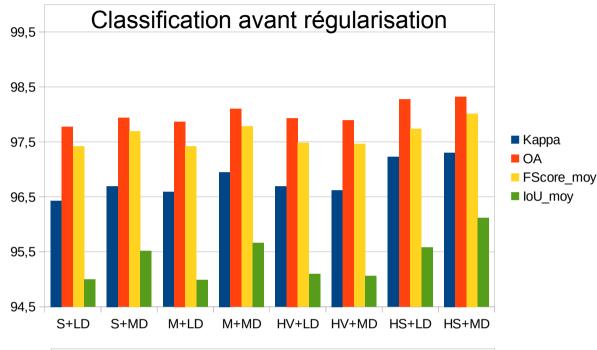
94,5

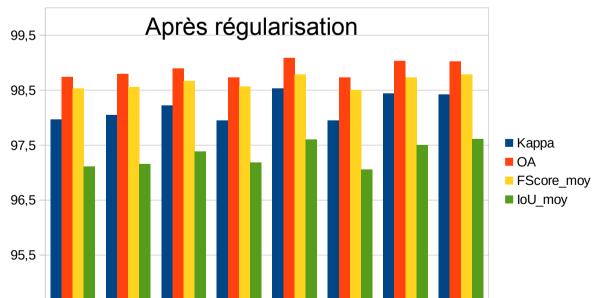
S+LD

S+MD

M+LD

M+MD





HV+LD HV+MD HS+LD HS+MD

Résultats finalement assez similaires, surtout après régularisation.

Légère amélioration en utilisant le Lidar de densité moyenne (MD).

Amélioration en utilisant l'hyperspectral VNIR+SWIR (HS)

De manière surprenante, configuration multispectrale (M) légèrement meilleure que certaines configurations plus riches.

Après régularisation

|IGN|

IIGNI

Bilan et perspectives

Sur cette expérience, apport de configurations (spectrales et Lidar) plus riches peu marqué voire inexistant.sur les peuplements purs.

Toutefois, cas assez spécifique et pas optimal pour montrer l'apport de données plus riches:

- zone peu importante
- 5 classes
- acquisition automnale (octobre) → on peut distinguer certains peuplements d'après RVB...

En revanche, quid des zones non pures de la BD Forêt ?

→ Analyse à mener à partir d'une saisie enrichie.

Bilan et perspective

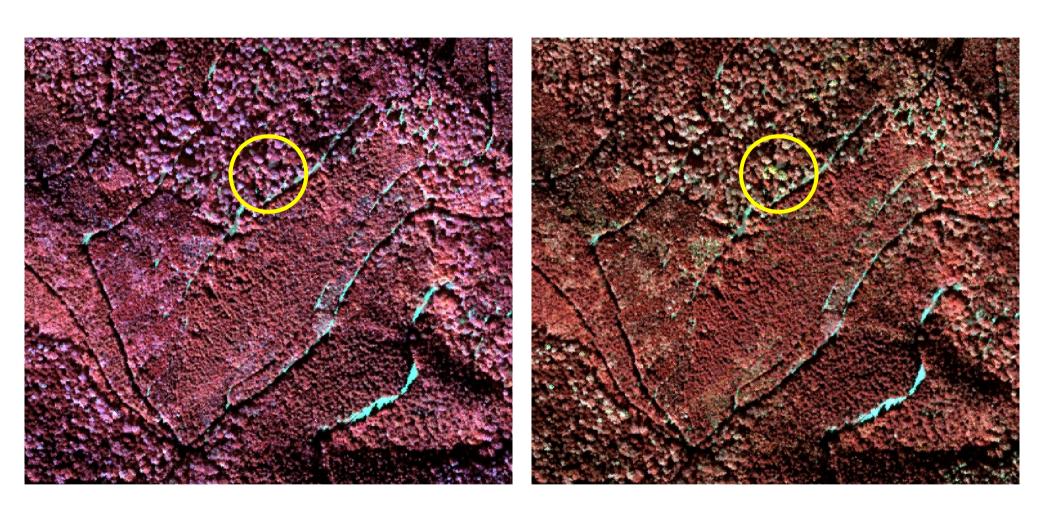


IRC simu Pléiades

IR- Red edge - rouge simu superspectral

IGNI

Bilan et perspective



IRC simu Pléiades

IR - Red edge - rouge simu superspectral

Données plus riches → Informations supplémentaires même si peu utiles ici pour peuplements purs généralisés...

Bilan et perspectives

Caméra superspectrale : quelle caméra pour quelles applications ?

Quelles applications ? Quelles évolutions ?

Pour le moment, applications envisagées sur des problématiques d'occupation du sol et de classification IGN :

- Occupation du sol fine en milieu urbain
- Classification d'essences forestières (mise à jour de la carte forestière)
- Occupation du Sol à Grande Echelle

... mais volonté d'avoir un champ d'applications plus large.

Pour le moment, 6 bandes pour la preuve de concept, mais possibilité pour plus de bandes à l'avenir

liGN

Bilan et perspectives

Quelles applications ? Quelles évolutions ?

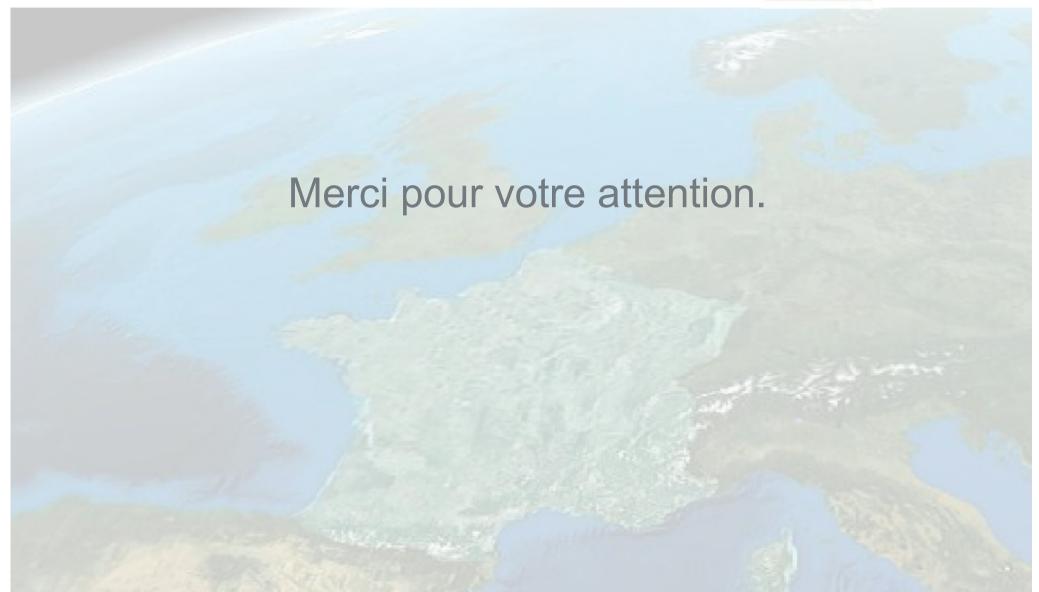
Nous sommes preneurs de vos besoins et suggestions de nouvelles applications ainsi que d'éventuels prérequis pour des bandes spectrales particulières.

N'hésitez pas à nous en faire part !











Bibliographie



Dechesne, C., 2017. Segmentation sémantique de données de télédétection multimodales : application aux peuplements forestiers. Thèse de doctorat de l'Université Paris-Est.



Dechesne, C., Mallet, C., Le Bris, A., and Gouet-Brunet, V., 2017. **Semantic segmentation of forest stands of pure species combining airborne lidar data and very high resolution multispectral imagery**. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 126, pp. 129-145.



Dechesne, C., Mallet, C., Le Bris, A., and Gouet-Brunet, V., 2017. How to combine Lidar and very high resolution multispectral images for forest stand segmentation? *IGARSS* 2017.



Dechesne, C., Mallet, C., Le Bris, A., and Gouet-Brunet, V., 2017. **Semantic segmentation of forest stands of pure species as a global optimisation problem**. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 4(1/W1)*, pp. 141-148.