



Analyse de sensibilité du satellite Sentinel-2 pour la caractérisation de la végétation arborée en milieu urbain

Théo LE SAINT ^[1] *Doctorant Cifre Rennes Métropole,*
Karine ADELIN ^[2], Sidonie LEFEBVRE ^[2], Jean NABUCET ^[1],
Laurence HUBERT-MOY ^[1]



1 INTRODUCTION

Les enjeux de la végétation urbaine

Services écosystémiques reconnus :

- Régulation thermique
- Stockage du carbone
- Biodiversité (pollinisation, habitat, etc...)
- Récréatif, bien-être et paysage



Un contexte qui présente des contraintes

- Artificialisation des sols
- Îlot de chaleur
- Pollutions (chimiques, lumineuses)





1 INTRODUCTION

Les paramètres de suivi des arbres

Analyse Visual Tree Assessment (VTA)

- Analyse visuelle
- Critères qualitative et quantitatif

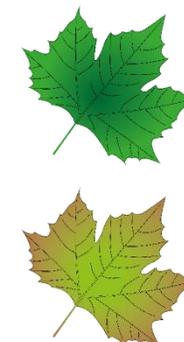
Leaf area index (LAI)

- Bon indicateur phénologique
- Sensible à la défoliation



Taux de chlorophylle

- Sensible au stress(s)
- Sensible aux variations de température



—————→ **Des méthodes de suivi *in situ* couteuses et chronophages**



1 INTRODUCTION

Végétation arborée urbaine et télédétection

Caractérisation et suivi

- Capteur multispectral (à minima)
- Séries temporelles conséquentes



Estimation de variables biophysiques

Différentes échelles

- Parcs / forêts
- Arbres d'alignements
- Arbres isolés

Sentinel-2 :

- Données ouvertes (recherche et commerciale)
- Revisite tous les 5 jours
- Multispectral : RGB, RE, NIR, SWIR
- 10 et 20 mètres



Peu d'études de ce type en environnement urbain



1 INTRODUCTION

Objectifs

Les images Sentinel-2 sont-elles adaptées pour le suivi du taux de chlorophylle et du LAI des arbres en milieu urbain ?

- 1 Evaluer la sensibilité de Sentinel-2 pour le suivi de l'arbre dans différents contextes urbain
- 2 Déterminer les indices de végétation qui sont les plus influencés par les paramètres d'intérêts (taux de chlorophylle, LAI)
- 3 Déterminer les conditions les plus favorables pour le suivi de ces paramètres d'intérêts



2 DONNÉES ET MÉTHODES

DART

Discrete Anisotropic Radiative Transfer (Model)

- Modèle de transfert radiatif Terre-atmosphère
- Permet de modéliser les interactions électromagnétiques entre un scène et un capteur
- Modèle en 3 dimensions



Mener une analyse de sensibilité sur une base de données d'images Sentinel-2 simulées dans des conditions maîtrisées





2 DONNÉES ET MÉTHODES

Méthodologie générale

1

Détermination des paramètres variables et fixes



2

Simulation des images Sentinel-2 avec DART et post-processing



3

Analyse de sensibilité : calcul des métamodèles et des indices de sensibilité de Sobol

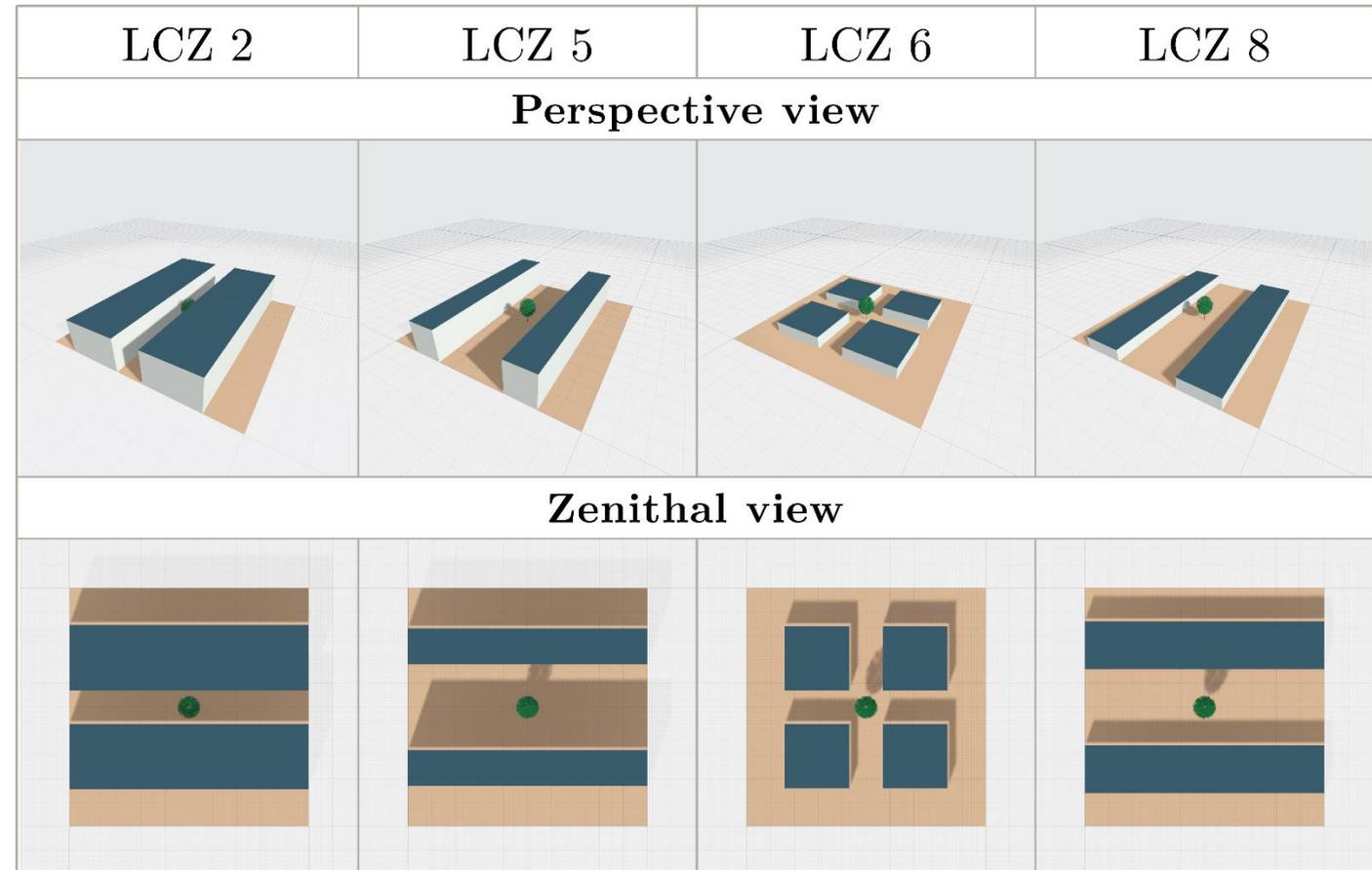


2 DONNÉES ET MÉTHODES

Présentation des *Local Climate Zones*

Local climate zone (LCZ)

- Ratio d'aspect
- Proportion de surfaces bâties
- Hauteur des éléments
- Proportion de surfaces imperméables
- Proportion de surfaces perméables



Définition de scènes aux dimensions 100m x 100m



2 DONNÉES ET MÉTHODES

Description des paramètres

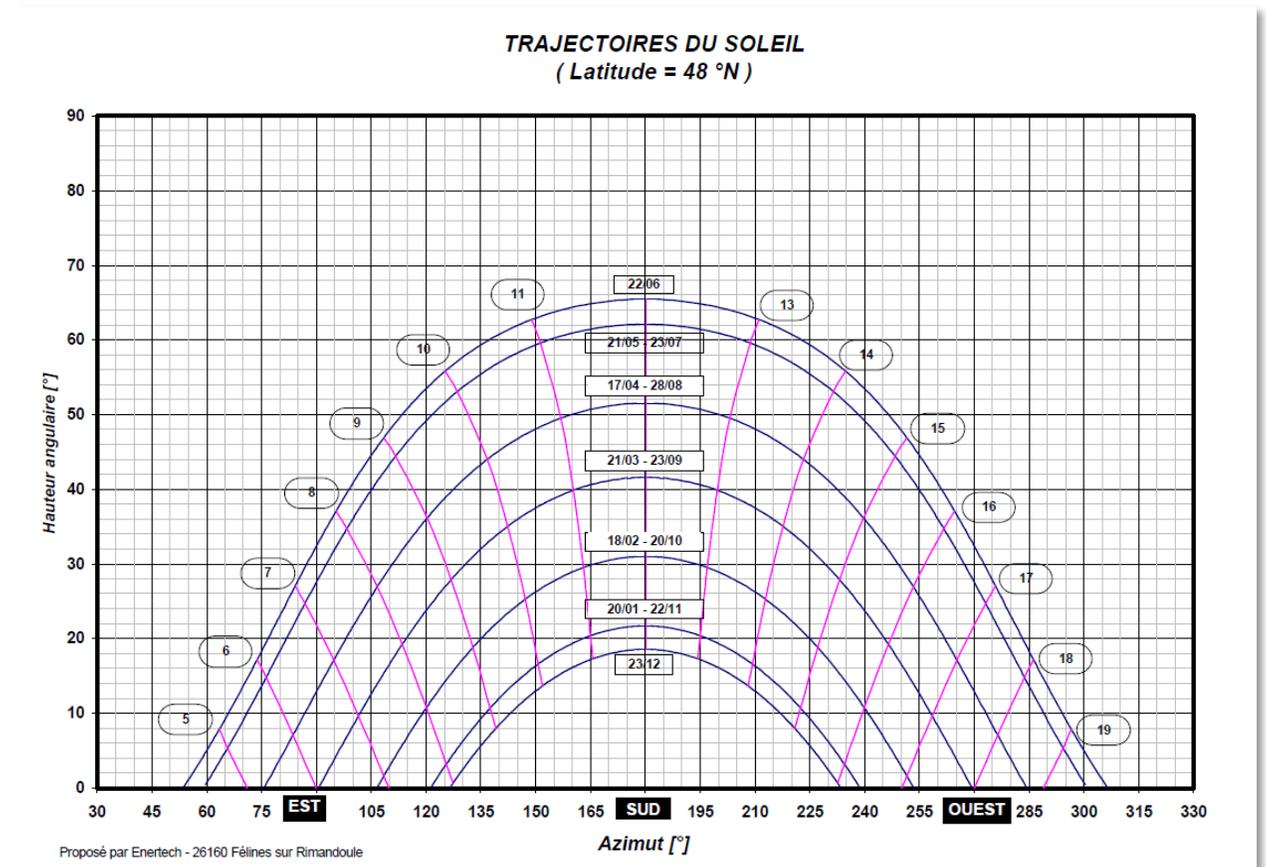
Conditions solaires et atmosphériques

Illumination

- Angle zénithal et azimuthal
- De Mars à Novembre

Atmosphère

- Modèle standard (USSA)
- Aérosols urbains





2 DONNÉES ET MÉTHODES

Description des variables d'intérêt

Contexte d'implantation

Orientation de la rue

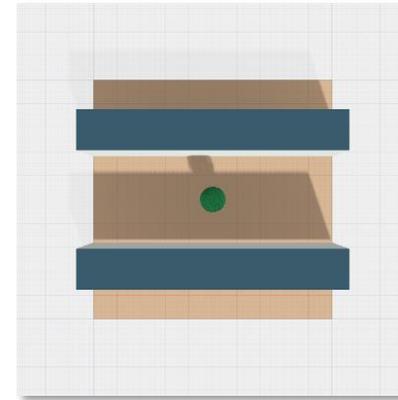
- N-S, E-O, SO-NE, NO-SE

Distance entre l'arbre et le bati

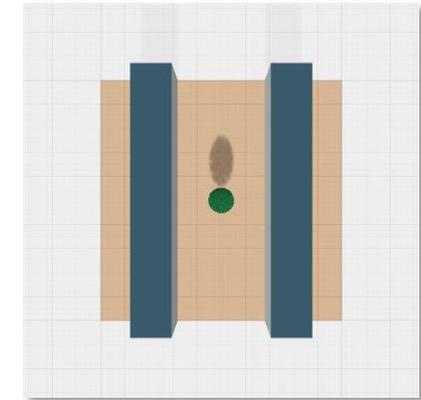
- [5;15] mètres

Exposition

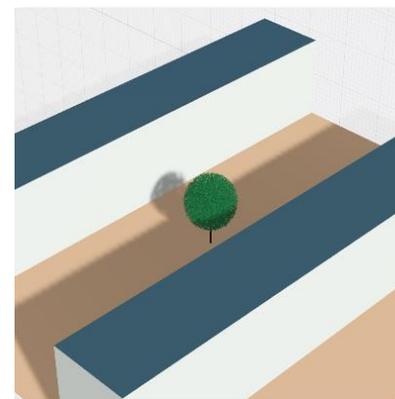
- L'arbre est localisé par rapport au bâtiment exposé au soleil ou non



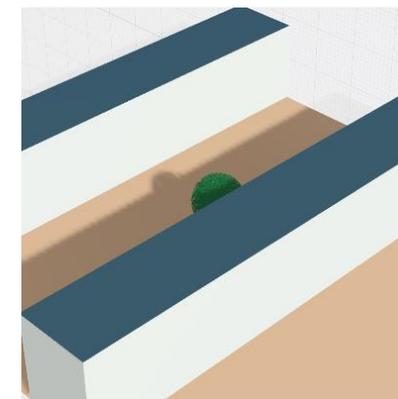
➔ orientation est-ouest



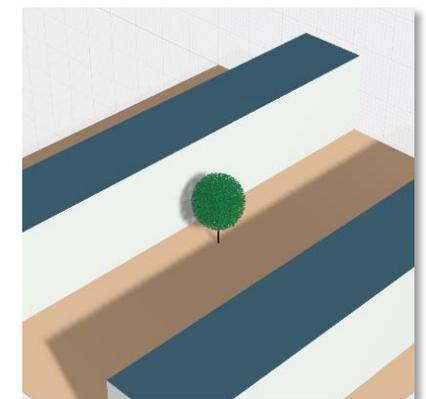
➔ orientation nord-sud



➔ Exposé ; 15m



➔ Non-exposé ; 5m



➔ Exposé ; 5m



2 DONNÉES ET MÉTHODES

Description des variables d'intérêt

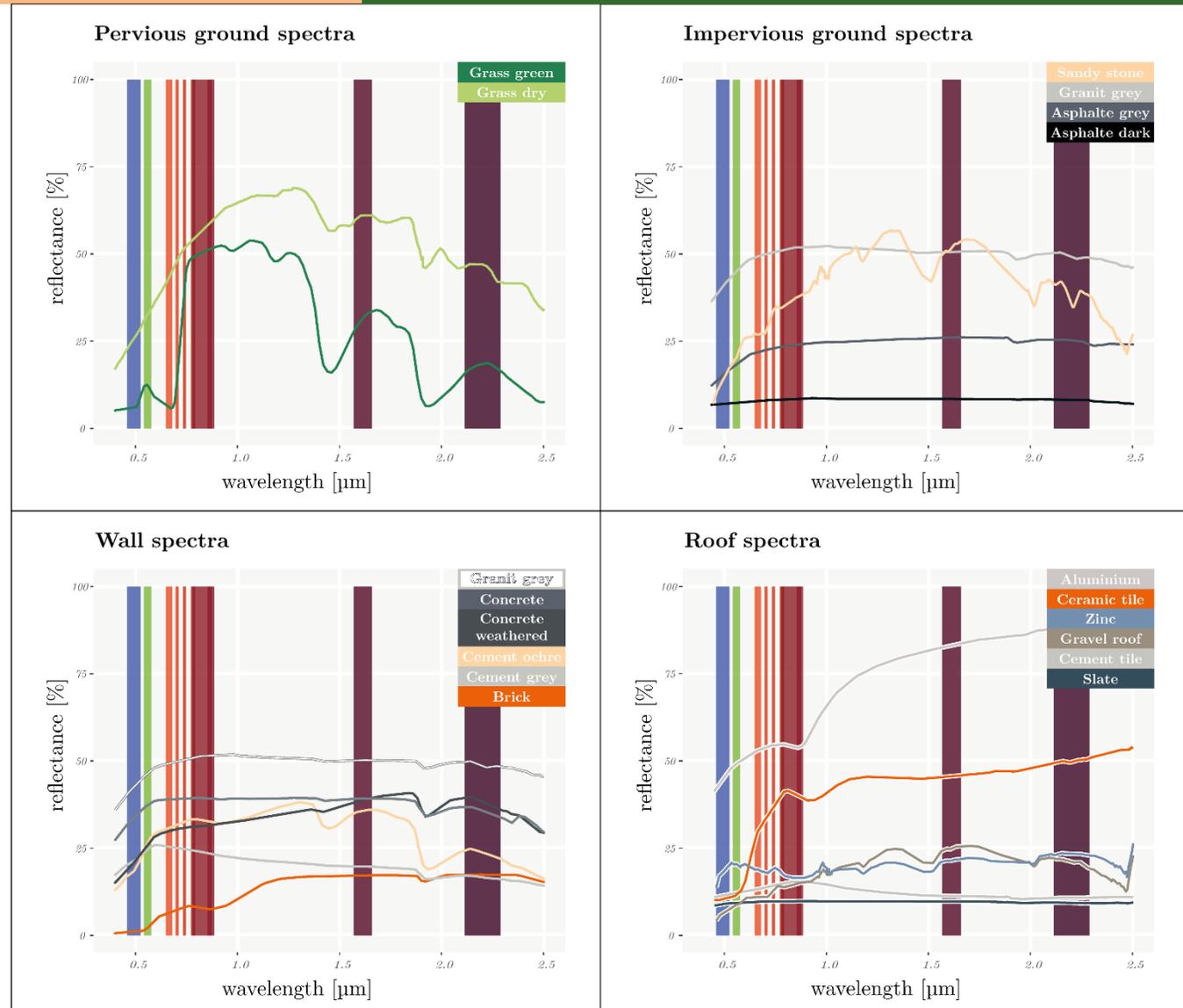
Matériaux et revêtements

- Sol imperméable (2 spectres)
- Sol perméable (4 spectres)
- Mur (6 spectres)
- Toit (6 spectres)

Dans DART, les propriétés optiques du sol sont définies comme un mélange entre sol imperméable et sol perméable dans les proportions suivantes :

LCZ2	LCZ5	LCZ6	LCZ8
90 ; 10	60 ; 40	50 ; 50	75 ; 25

% Surface imperméable ; % Surface perméable





2 DONNÉES ET MÉTHODES

Description des variables d'intérêt

Caractéristiques de l'arbre

Géométrie

- Hauteur : 15 mètres
- Hauteur du fût : 4 mètres
- Hauteur de la couronne : 11 mètres
- **Diamètre de la couronne : 10 mètres**
- Diamètre du tronc : 40 centimètres

Dimensions moyennes pour les espèces majoritaires d'arbres urbains (**Tilia, Quercus, Platanus, Fraxinus, Acer**) ayant un **diamètre compris entre 8 et 12 m**. Selon les statistiques issues de la base de données : Arbres d'alignement de la Métropole de Lyon





2 DONNÉES ET MÉTHODES

Description des variables d'intérêt

Caractéristiques de l'arbre

LAI

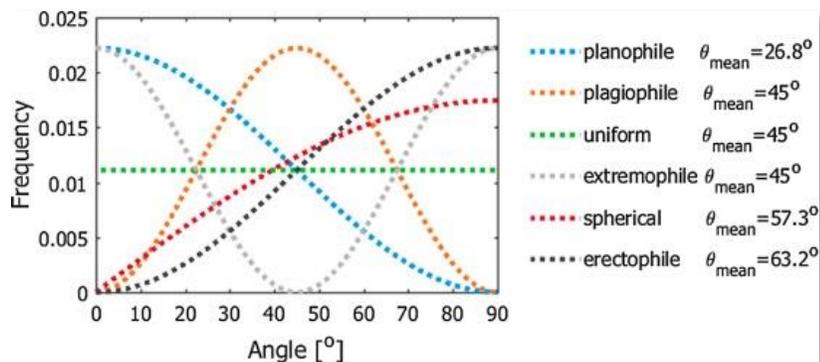
- Leaf area density : $[0.1 ; 2.5] \text{ m}^2/\text{m}^3$

Clumping factor

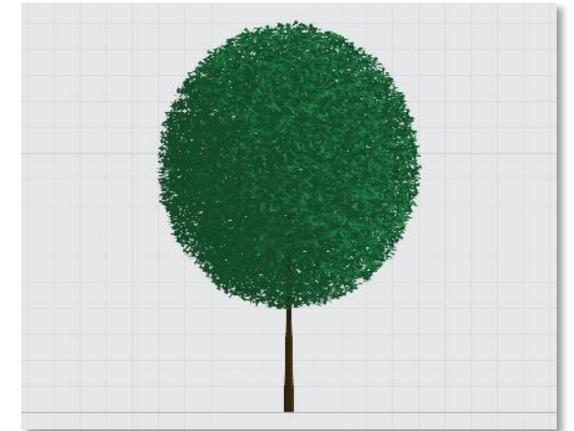
- $[50 ; 100] \%$

Distribution angulaire des feuilles

- Planophile et plagiophile



LAI= $0.1 \text{ m}^2/\text{m}^3$; clump = 100%



LAI= $2.5 \text{ m}^2/\text{m}^3$; clump = 100%



LAI= $2.5 \text{ m}^2/\text{m}^3$; clump = 50%



2 DONNÉES ET MÉTHODES

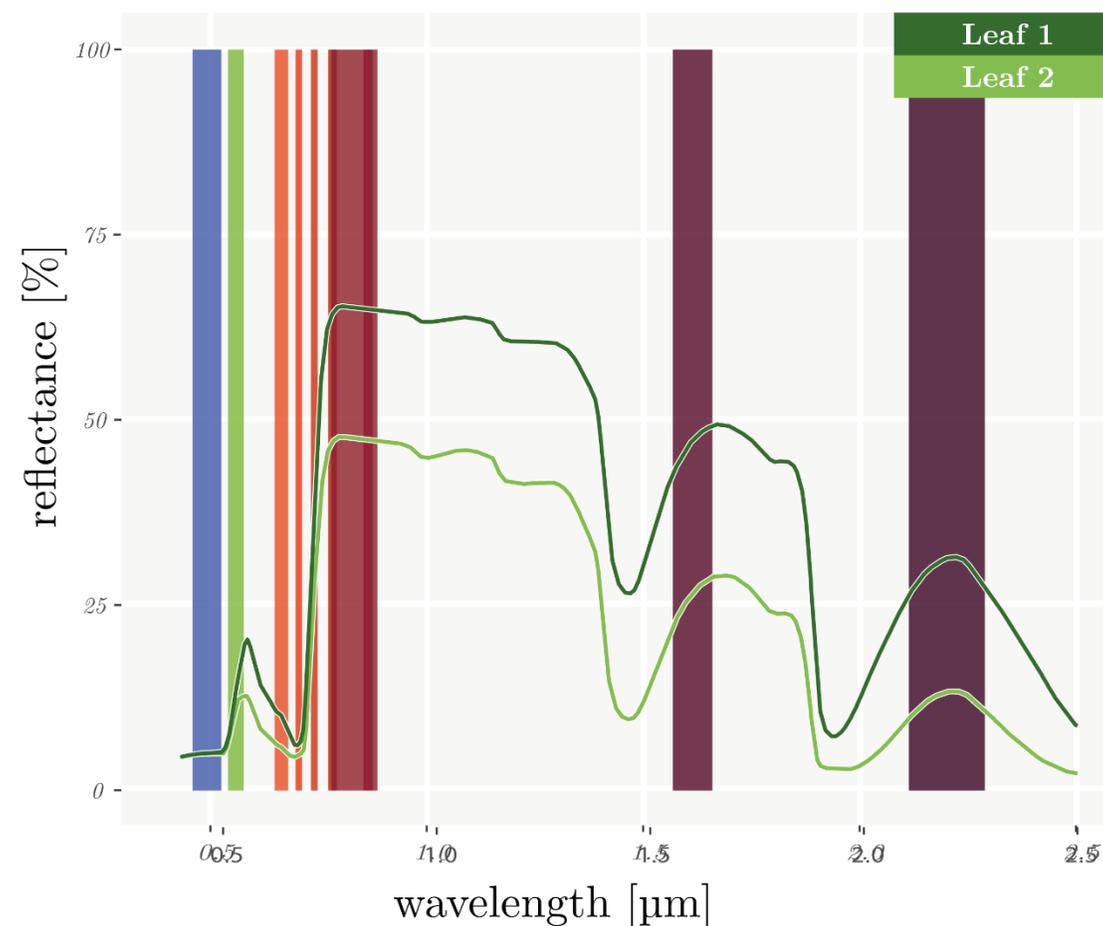
Description des variables d'intérêt

Propriétés optiques des feuilles

PROSPECT-D

- Chlorophylle content : [5 ; 60] $\mu\text{g}/\text{cm}^2$
- Carotenoid content : [2.5 ; 25] $\mu\text{g}/\text{cm}^2$
- Equivalent water thickness : [0.004 ; 0.024] cm
- Dry matter content : [0.002 ; 0.014] g/cm²
- Structure coefficient : [1.1 ; 2.3]
- Brown pigment : fixe
- Anthocyane : fixe

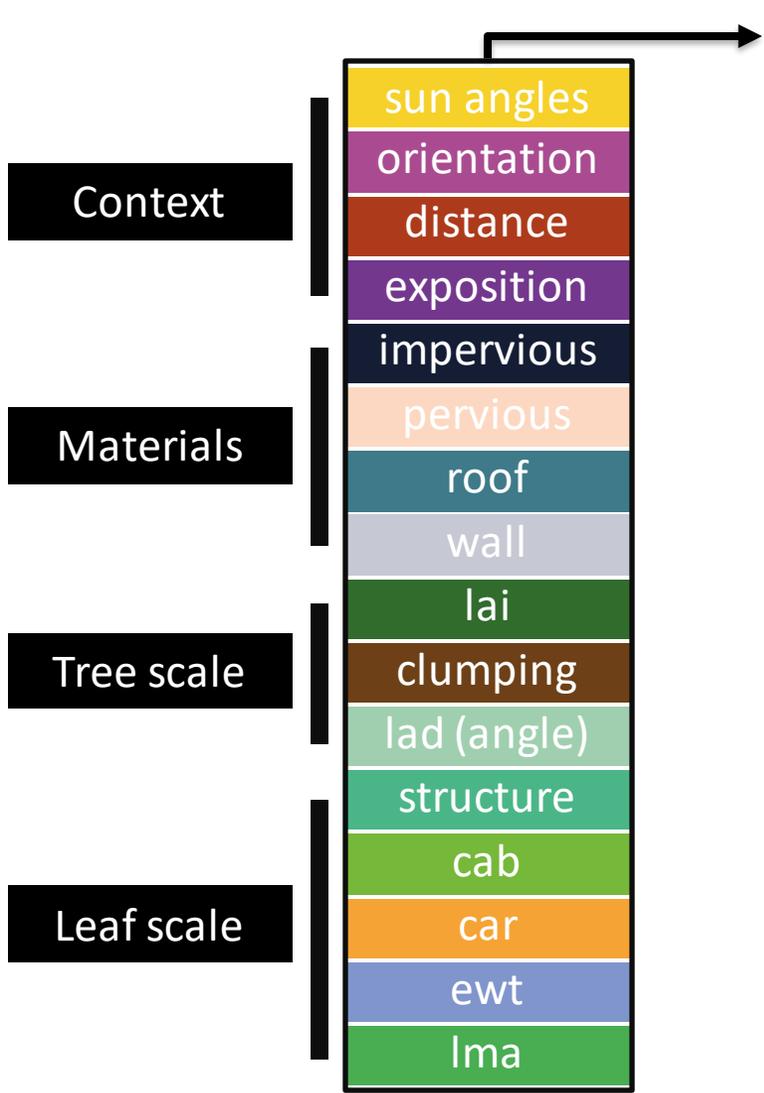
Leaf spectra from PROSPECT





2 DONNÉES ET MÉTHODES

Plan d'expérience et simulations



1 : Latin Hypercube Sample

- Un dataset de 3000 lignes et 16 colonnes → 3000 paramétrages DART



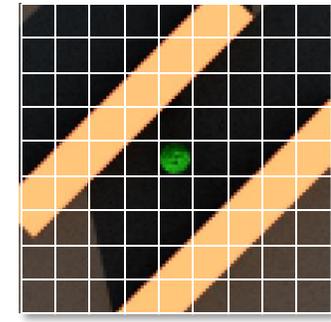
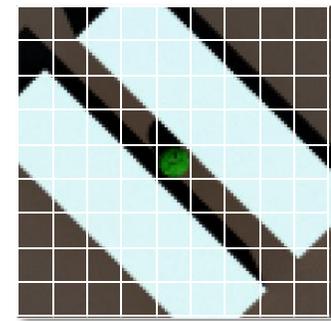
2 : Simulations DART

- 3000 images simulées pour chaque LCZ avec la configuration Sentinel-2



3 : Post-processing

- Extraction des valeurs spectrales de pixel
- Calcul des indices de végétation





2 DONNÉES ET MÉTHODES

Indices de végétation

Forme	Nom	Abréviation	Bandes : 10m / 20m	Proxy
Simple ratio	Simple ratio NIR/R	DVI	R, PIR1	Chlorophylle
Normalisé	Green Leaf Index	GLI	B, G, R	Chlorophylle
	Atmosphéric resistant vegetation index	ARVI	B, R, PIR1	Chlorophylle
	Normalized Vegetation Index	NDVI	R, PIR1	Chlorophylle LAI
	Red edge NDVI	NDVIRE	RE1, RE2	Chlorophylle
	Sentinel-2 LAI Index	SeLI	RE1, PIR2	LAI
Complexe	Sentinel-2 Triangular Vegetation Index	STVI	G, R, RE1, RE2, RE3, PIR2	Chlorophylle
	Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index 2	MCARI2	G, R, PIR1	Chlorophylle



2 DONNÉES ET MÉTHODES

Analyse de sensibilité

Indices de Sobol :

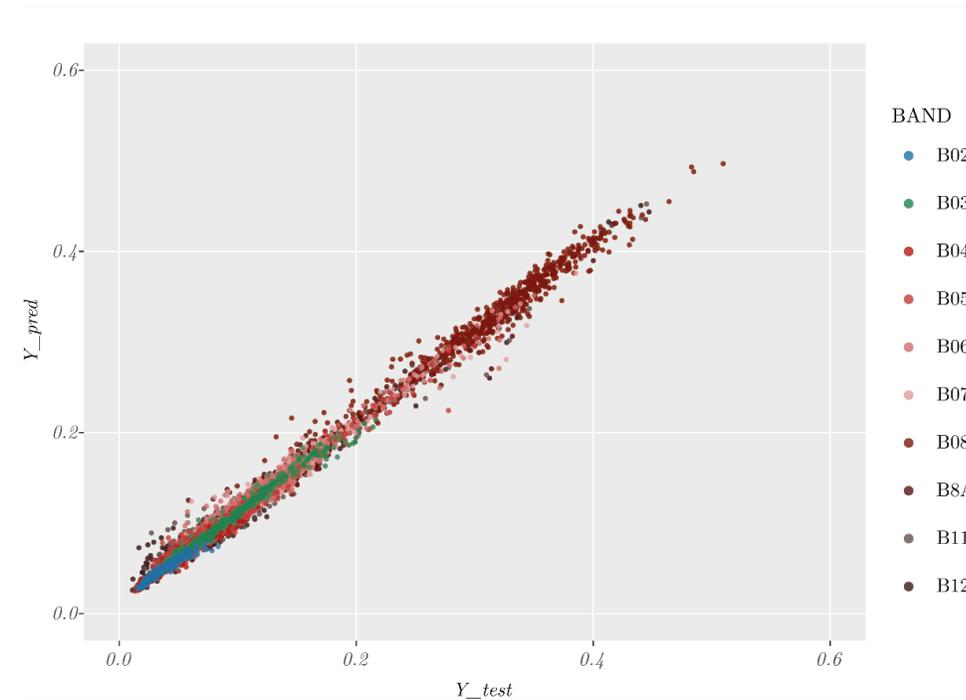
- Permet de quantifier l'influence des paramètres d'entrée $[X_1, \dots, X_n]$ sur une sortie de modèle $[Y]$
- La somme des contributions est égale à 1
- Adaptés aux modèles issus de simulations
- Nécessite un grand nombre d'appels au modèle
→ **Calcul d'un métamodèle**



Métamodèle - Regression par processus gaussien (GPR) :

- Adapté aux données de grandes dimensions et non linéaires

- 4 LCZs x (10 bandes + 8 VI) = 72 métamodèles
- Les métamodèles ont un R^2 entre 0.92 et 0.99



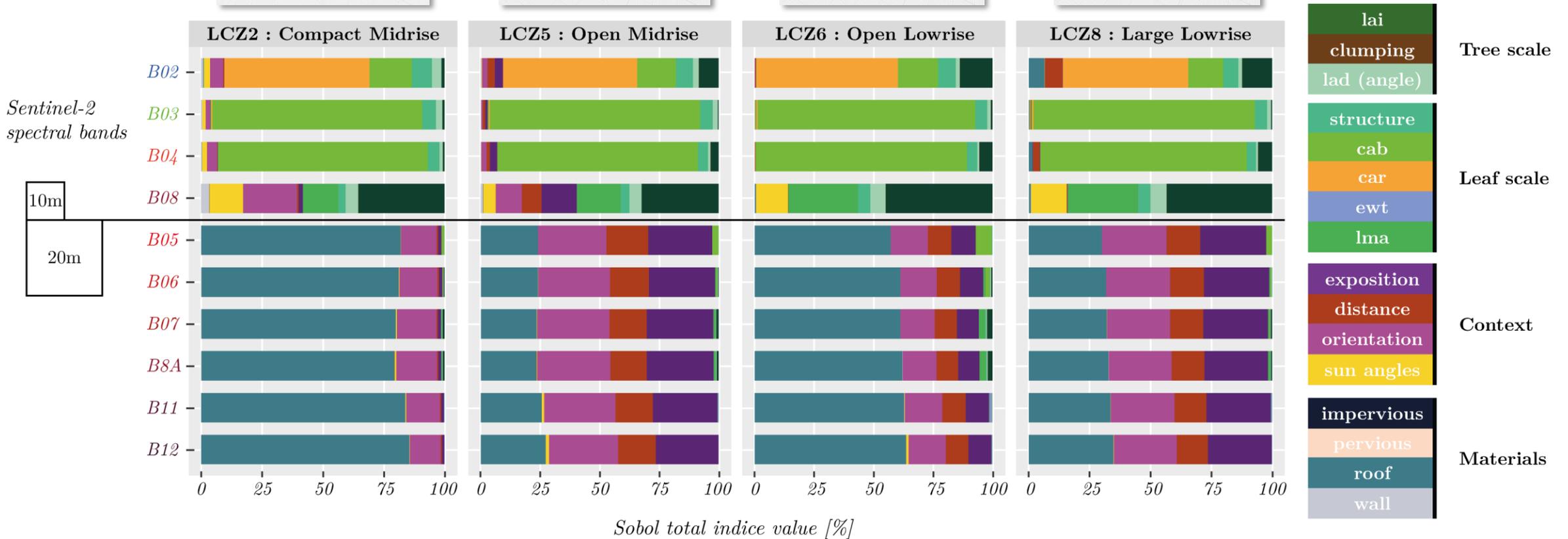
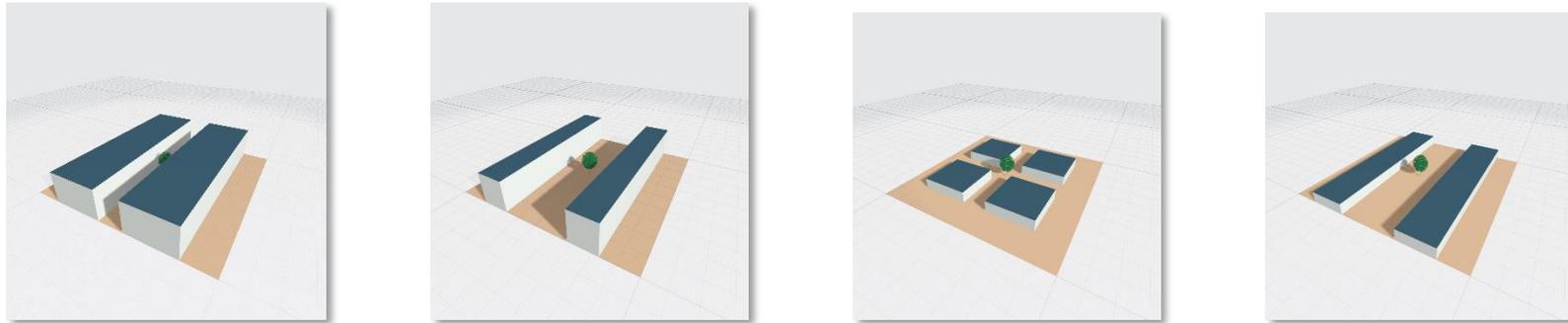
OpenTurns
(Airbus, EDF,
ONERA)

Scatterplot de validation – bandes spectrales – LCZ5



3 RÉSULTATS

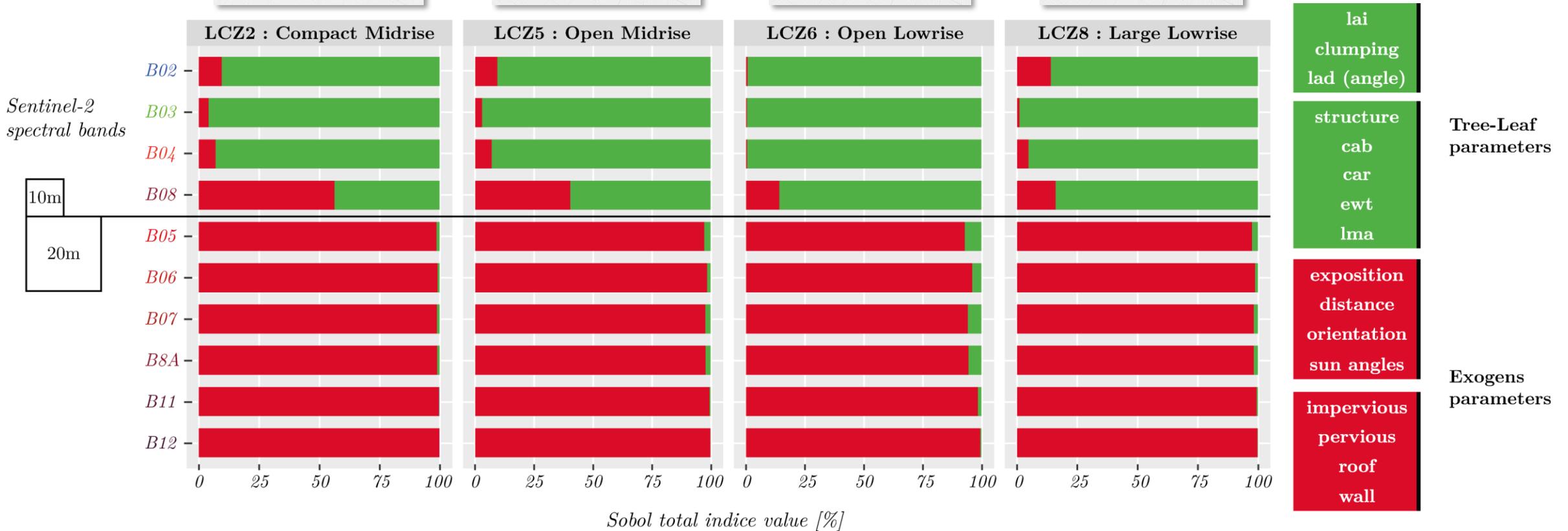
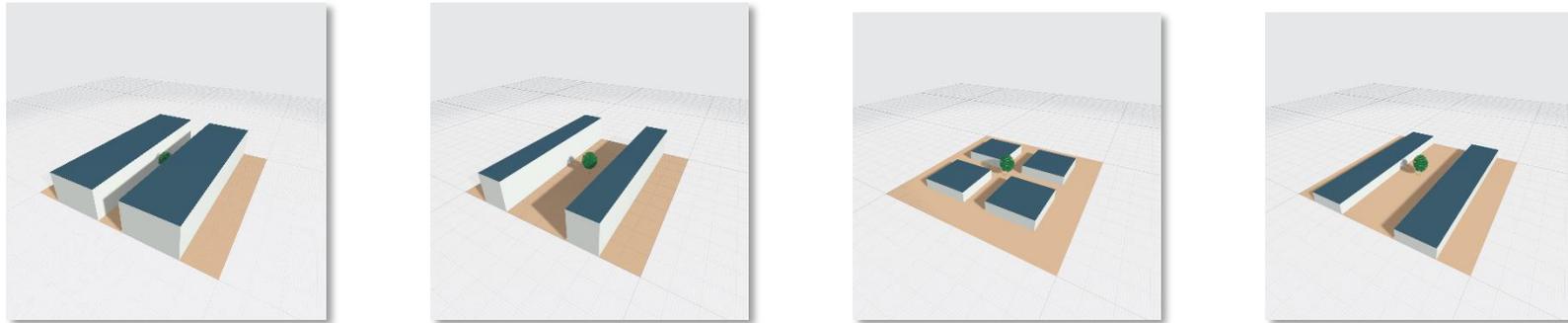
Comparaison globale LCZ – Bandes spectrales





3 RÉSULTATS

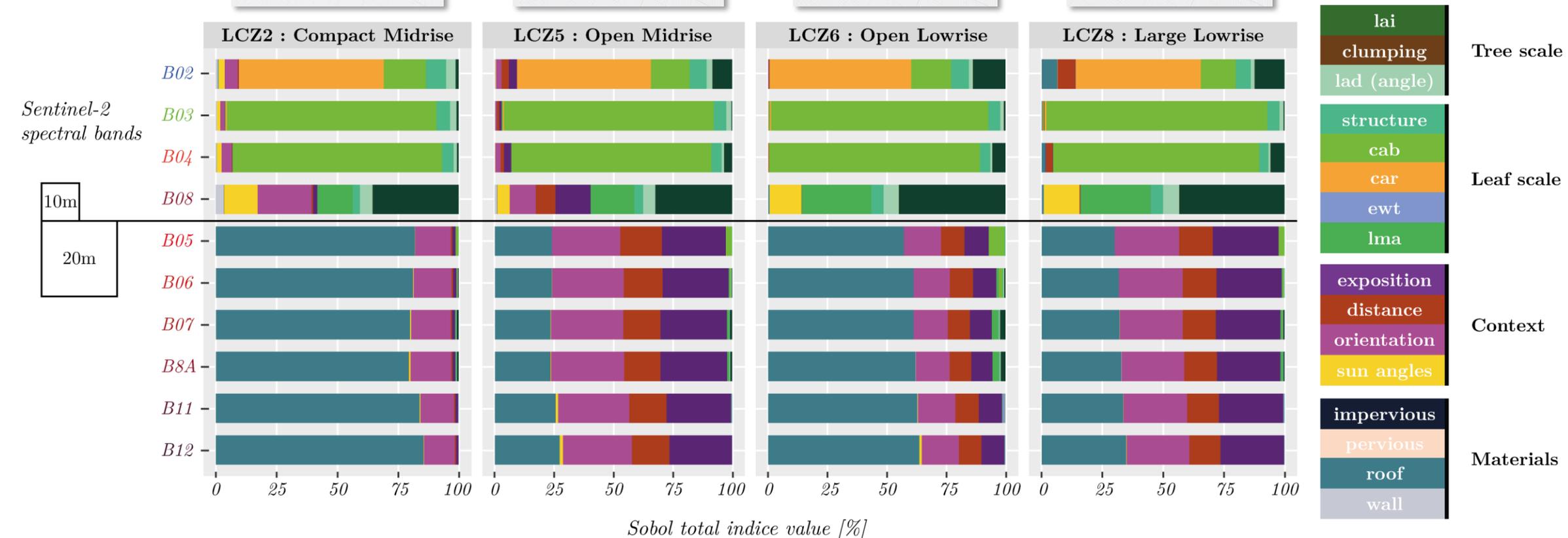
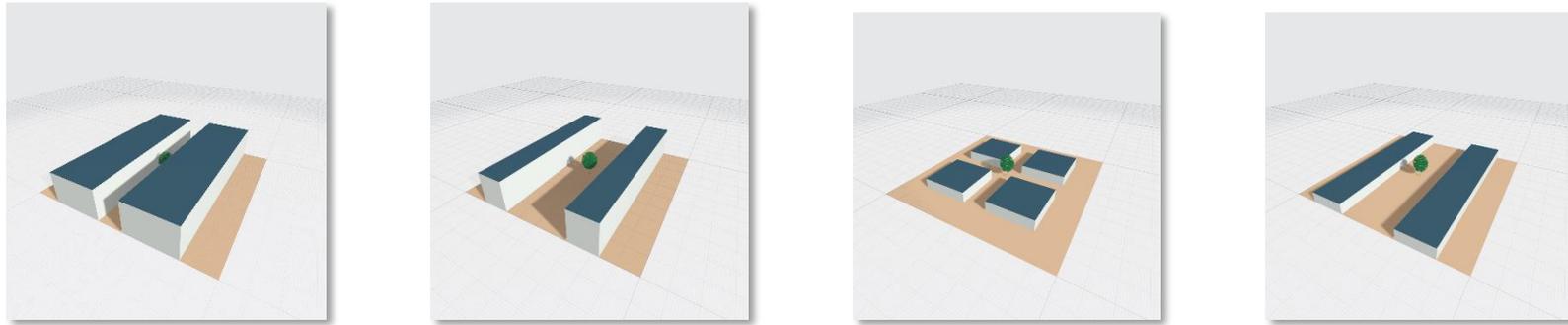
Comparaison globale LCZ – Bandes spectrales





3 RÉSULTATS

Comparaison globale LCZ – Bandes spectrales

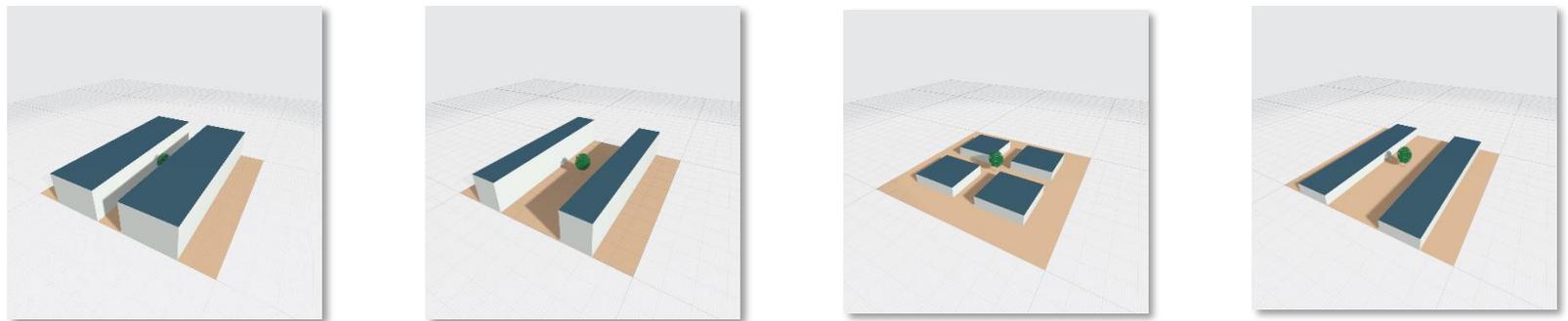


Sobol total indice value [%]

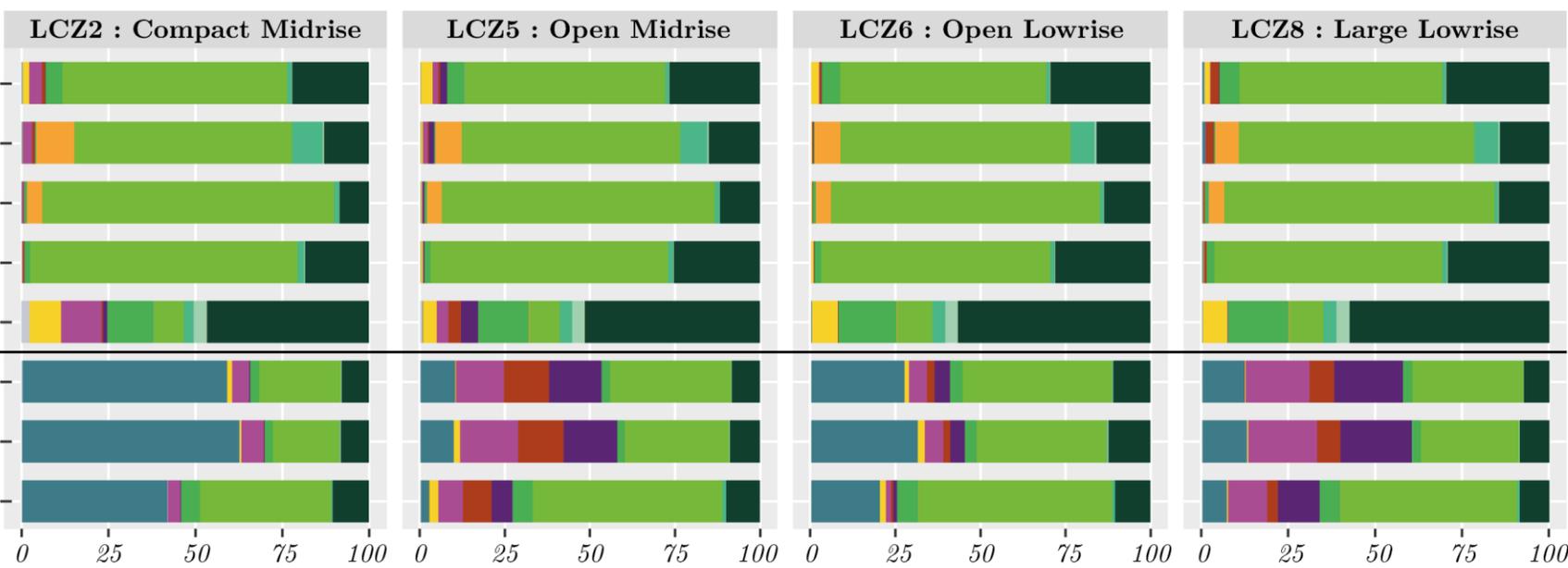


3 RÉSULTATS

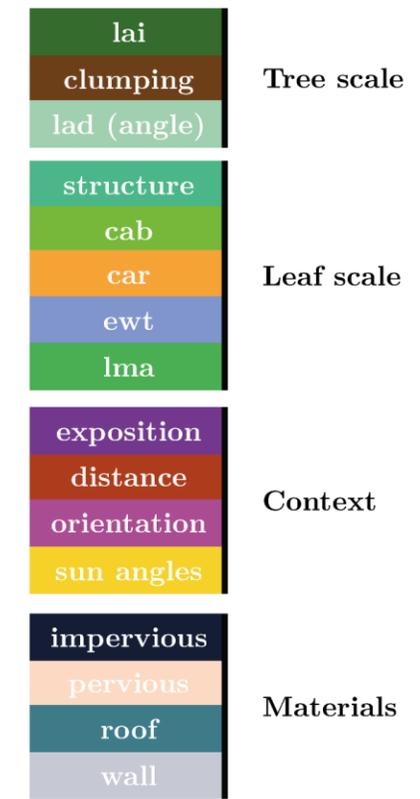
Comparaison globale LCZ – Indices de végétation

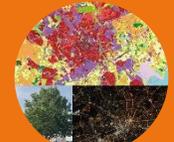


*Sentinel-2
vegetation
indices*



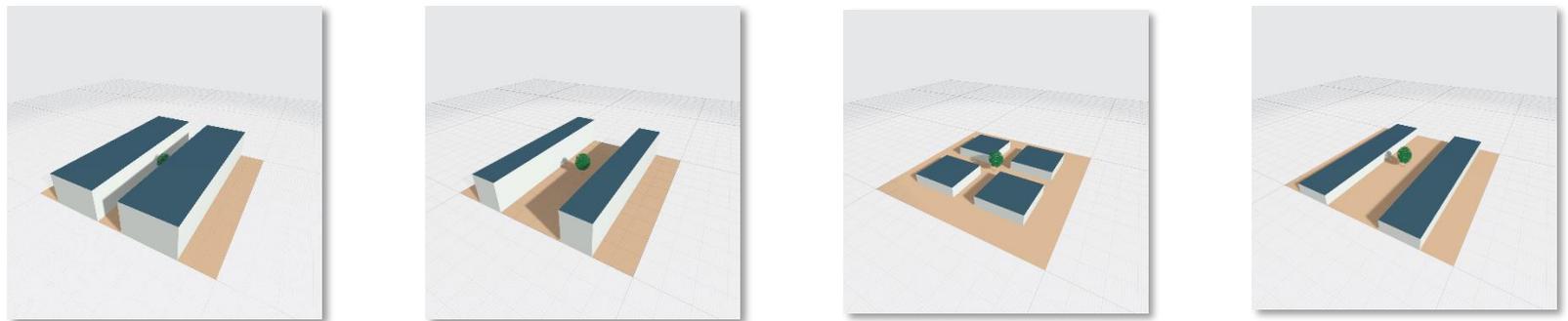
Sobol total indice value [%]





3 RÉSULTATS

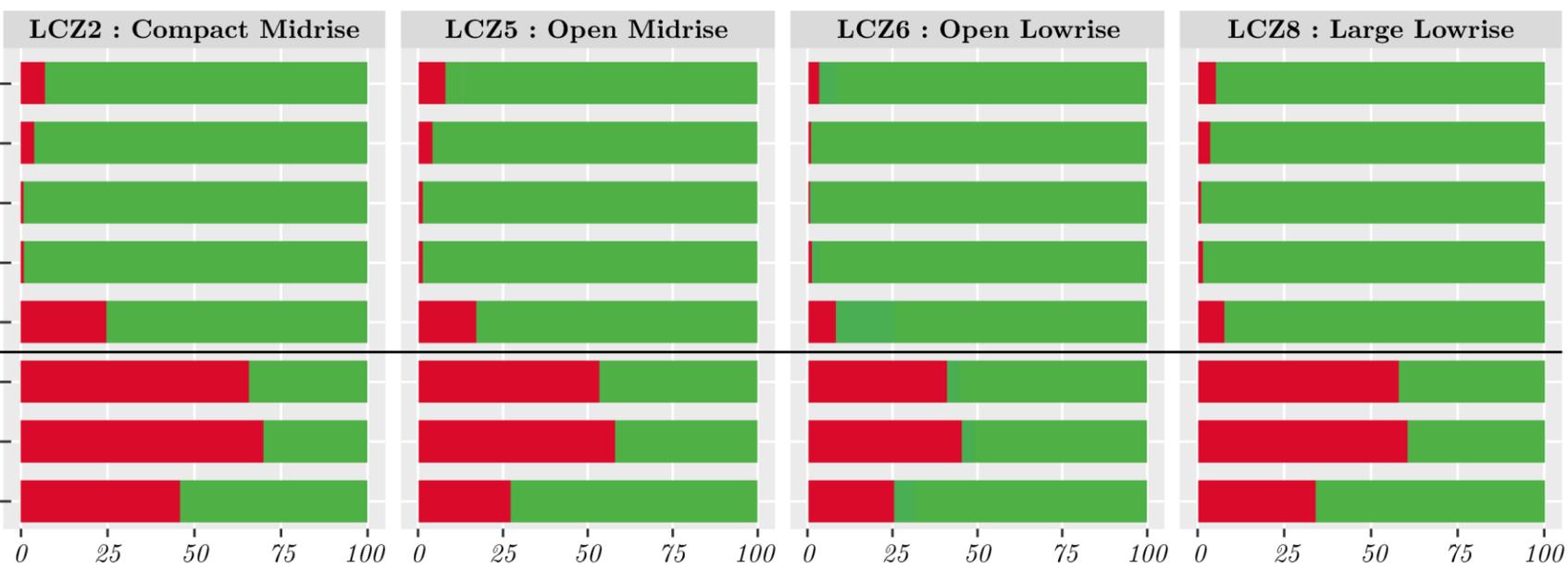
Comparaison globale LCZ – Indices de végétation



Sentinel-2
vegetation
indices

10m

20m



Sobol total indice value [%]

lai
clumping
lad (angle)

structure
cab
car
ewt
lma

exposition
distance
orientation
sun angles

impervious
pervious
roof
wall

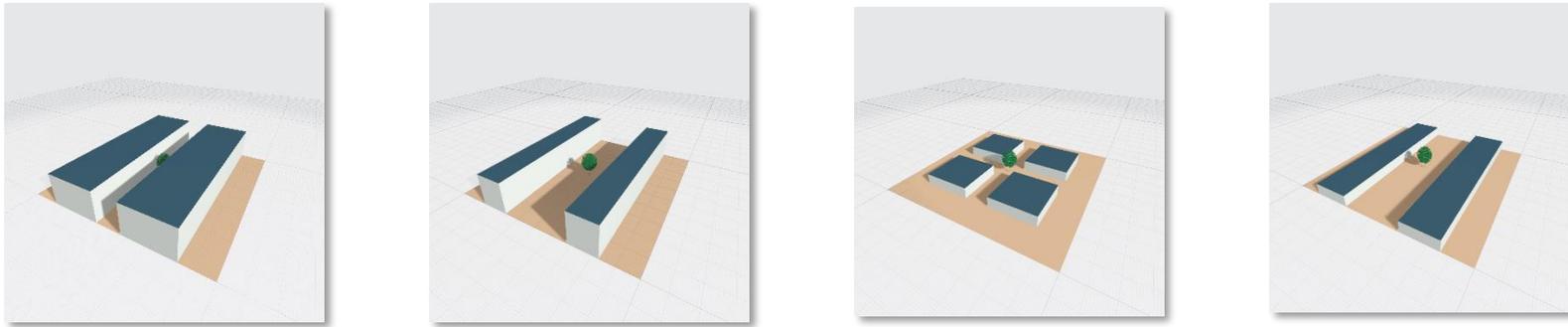
Tree-Leaf
parameters

Exogens
parameters



3 RÉSULTATS

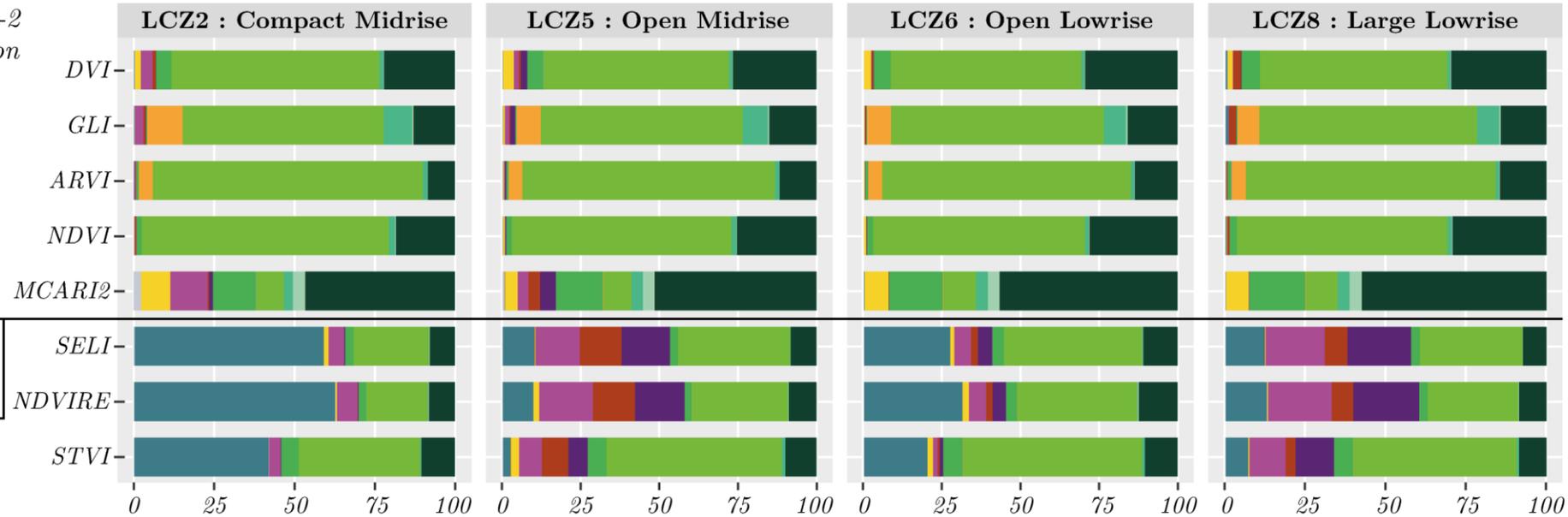
Comparaison globale LCZ – Indices de végétation



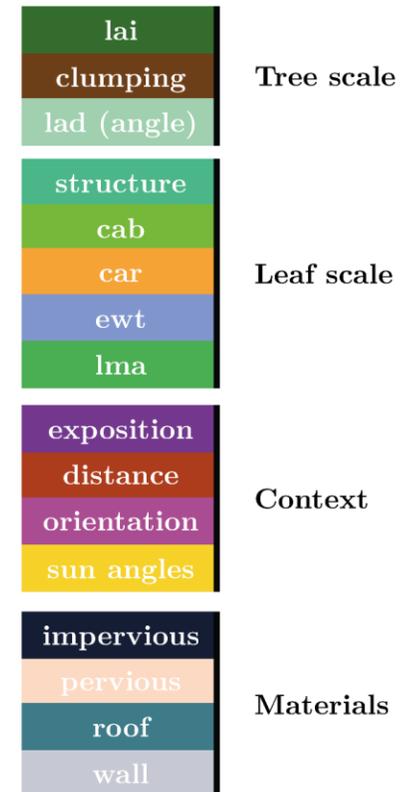
Sentinel-2
vegetation
indices

10m

20m



Sobol total indice value [%]



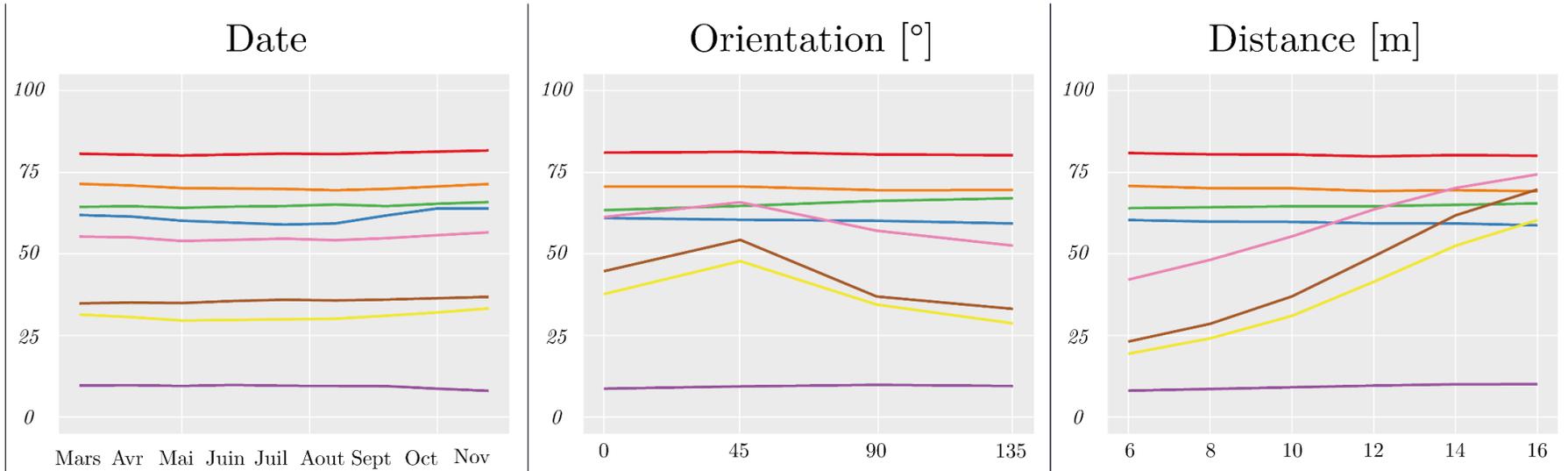


3 RÉSULTATS

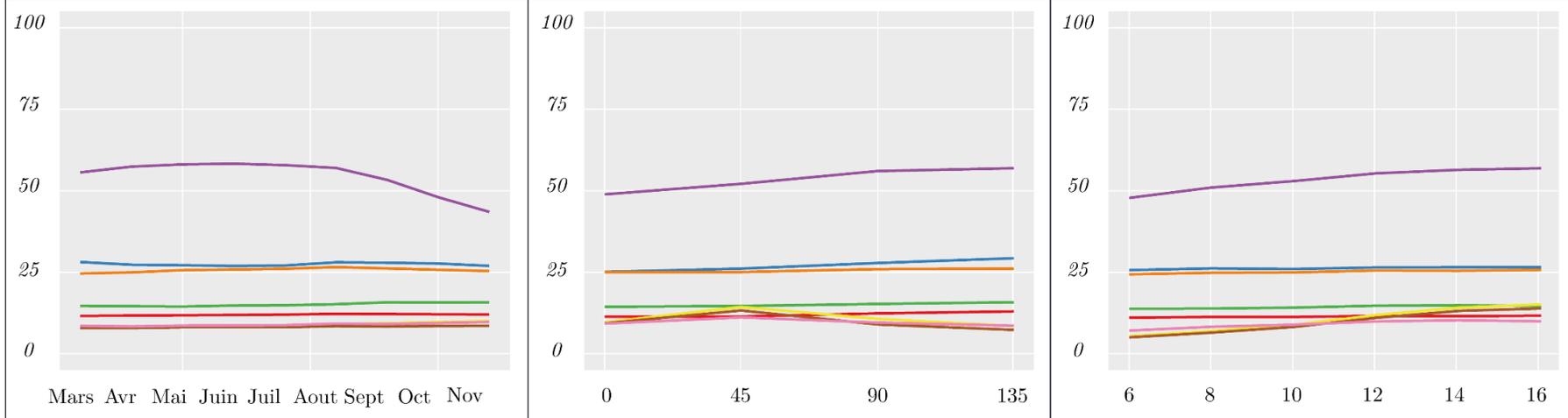
Variations des indices de Sobol selon différents facteurs

LCZ5

Valeur de l'indice de Sobol pour le paramètre 'cab' [%]



Valeur de l'indice de Sobol pour le paramètre 'lai' [%]





4 CONCLUSION ET DISCUSSION

- Etudes réalisées en **conditions maîtrisées** sur un **arbre isolé**
- Les bandes à **20 mètres** sont très influencées par les **paramètres exogènes**, quelle que soit la LCZ
- L'**ARVI** ressort comme étant l'indice le plus influencé par le **taux de chlorophylle**, quel que soit le contexte
- Le **MCARI** est l'indice le plus influencé par le **LAI**, il présente cependant une certaine variabilité aux contextes
- Permet de **quantifier et d'identifier l'incertitude**, dans plusieurs **contextes urbains**.



5 PERSPECTIVES

- Etablir une **carte d'incertitude** selon la LCZ et le contexte **d'implantation** d'un arbre
- Reproduire cette analyse avec les satellites **PlanetScope** (3m ; multispectrale ; données journalières)
- Tester les résultats avec des **images réelles** et des **mesures in situ**

Retrouvez toutes les présentations de l'atelier



TÉLÉDÉTECTION POUR L'ÉTUDE DU MILIEU URBAIN

sur www.theia-land.fr/urbain/2023-urbain/

