

**Contribution de l'imagerie à très haute résolution pour améliorer le suivi écologique des aires protégées. Etude de cas de deux zones cynégétiques au Burkina Faso.**

**Auteur :** Bourdouxhe, Axel

**Promoteur(s) :** Lejeune, Philippe; 2945

**Faculté :** Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

**Diplôme :** Master en bioingénieur : gestion des forêts et des espaces naturels, à finalité spécialisée

**Année académique :** 2016-2017

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/3072>

---

*Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

## 10. Annexes

**Annexe 1. Classification des grandes formations végétales présentes sur les aires protégées d'Arly et de la Pendjari (Aubréville, 1957 ;Assédé et al., 2015; Ouedraogo et al., 2008 ; White, 1983 ; Letouzey, 1969 ;Parc National de la Pendjari, 2009).**

Grandes formations végétales	Définitions
<ul style="list-style-type: none"><li>1. Formations forestières fermées<ul style="list-style-type: none"><li>1.1. Formations forestières sous la dépendance du climat<ul style="list-style-type: none"><li>1.1.1. Forêt dense sèche</li></ul></li><li>1.2. Formations forestières sous la dépendance du sol<ul style="list-style-type: none"><li>1.2.1. Forêts ripicoles<ul style="list-style-type: none"><li>1.2.1.1. Galerie forestière</li></ul></li></ul></li></ul></li></ul>	<p>1. Peuplement continu d'arbres atteignant au moins 10 mètres de haut et dont les cimes s'interpénètrent. La strate herbacée est peu ou pas présente.</p> <p>1.1. Formation forestière dépendante des conditions climatiques.</p> <p>1.1.1. Peuplement fermé composé d'arbre et d'arbustes atteignant différentes hauteurs. La plupart des arbres de l'étage supérieur perdent leurs feuilles une partie de l'année.</p> <p>1.2. Formation forestière dépendante des conditions édaphiques.</p> <p>1.2.1. Formation forestière fermée en bordure de cours d'eau.</p> <p>1.2.1.1 . Formation forestière fermée au sein d'une matrice savannicole et située le long d'un cours d'eau.</p>

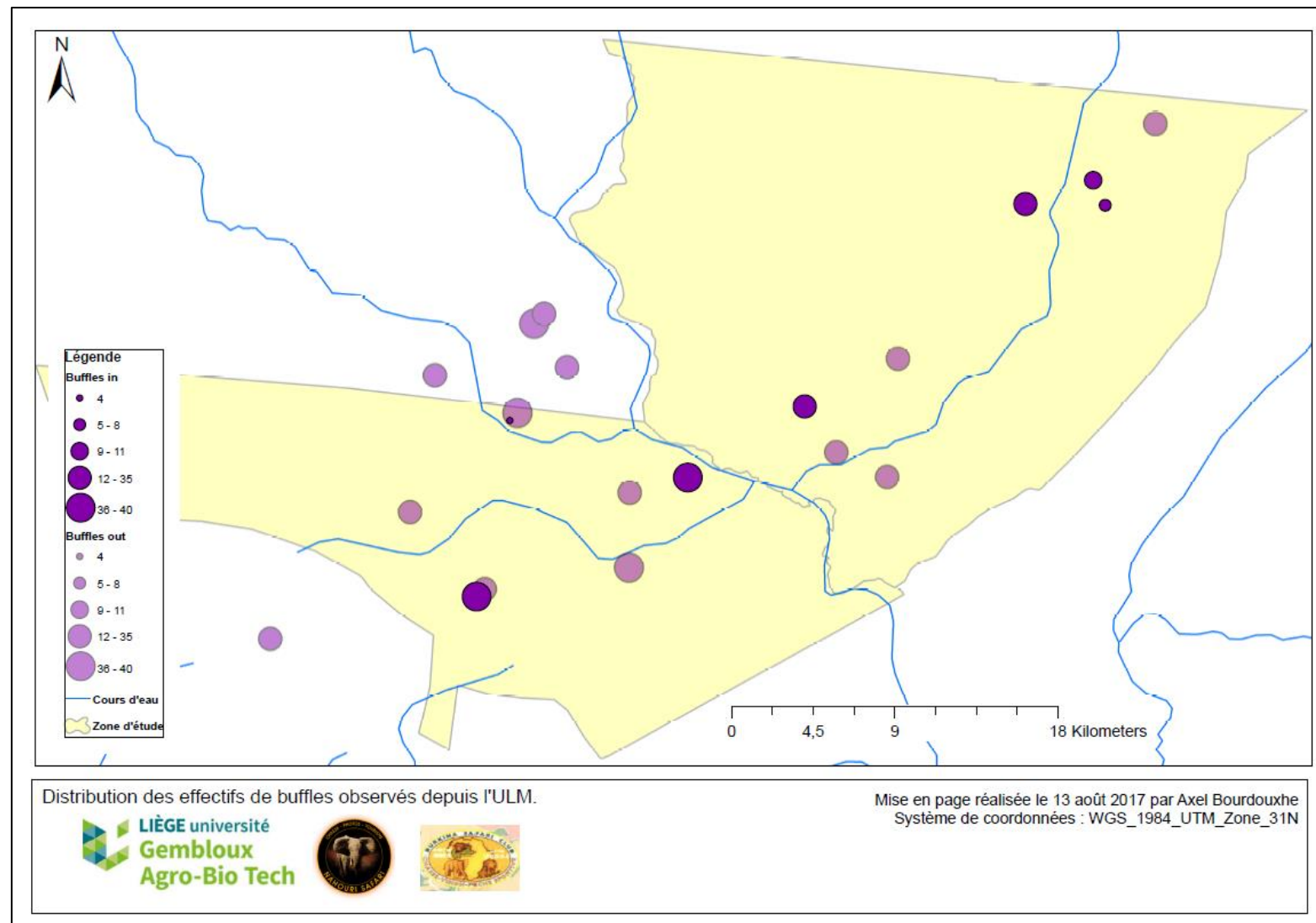
<p>2. Formations mixtes forestières et graminéennes</p> <p>2.1. La forêt claire</p> <p>2.2. Savanes</p> <p>2.2.1. La savane boisée/arborée</p> <p>2.2.2. La savane arbustive</p> <p>2.2.3. La savane herbeuse et marécageuse</p> <p>2.2.4. La savane saxicole</p>	<p>2. Peuplement dont la strate ligneuse cohabite avec une strate herbeuse.</p> <p>2.1. Peuplement ouvert d'arbres atteignant 8 à 20 mètres de haut, voire plus et dont les cimes sont plus ou moins jointives. Le recouvrement est de 40% ou plus. Graminées peu présentes.</p> <p>2.2. Formation herbeuse dominée par les graminées dont la hauteur en fin de saison sèche dépasse les 80cm de haut. Ces formations sont généralement parsemées de ligneux et la couverture herbacée brûle en général une fois par an.</p> <p>2.2.1. Savane dont la composante ligneuse a un recouvrement situé entre 10 et 40%. Les arbres se situent généralement entre 8 et 20 mètres de haut.</p> <p>2.2.2. Savane dont la composante ligneuse, essentiellement des arbustes inférieurs à 8m de haut, possède un recouvrement situé entre 10 et 40%.</p> <p>2.2.3. Savane dont la composante ligneuse représente moins de 10% de couverture au sol. Située généralement dans les plaines d'inondation et les dépressions en bord de cours d'eau.</p> <p>2.2.4. Végétation ligneuse installée sur des affleurements rocheux. Tapis de graminées discontinu.</p>
---	--

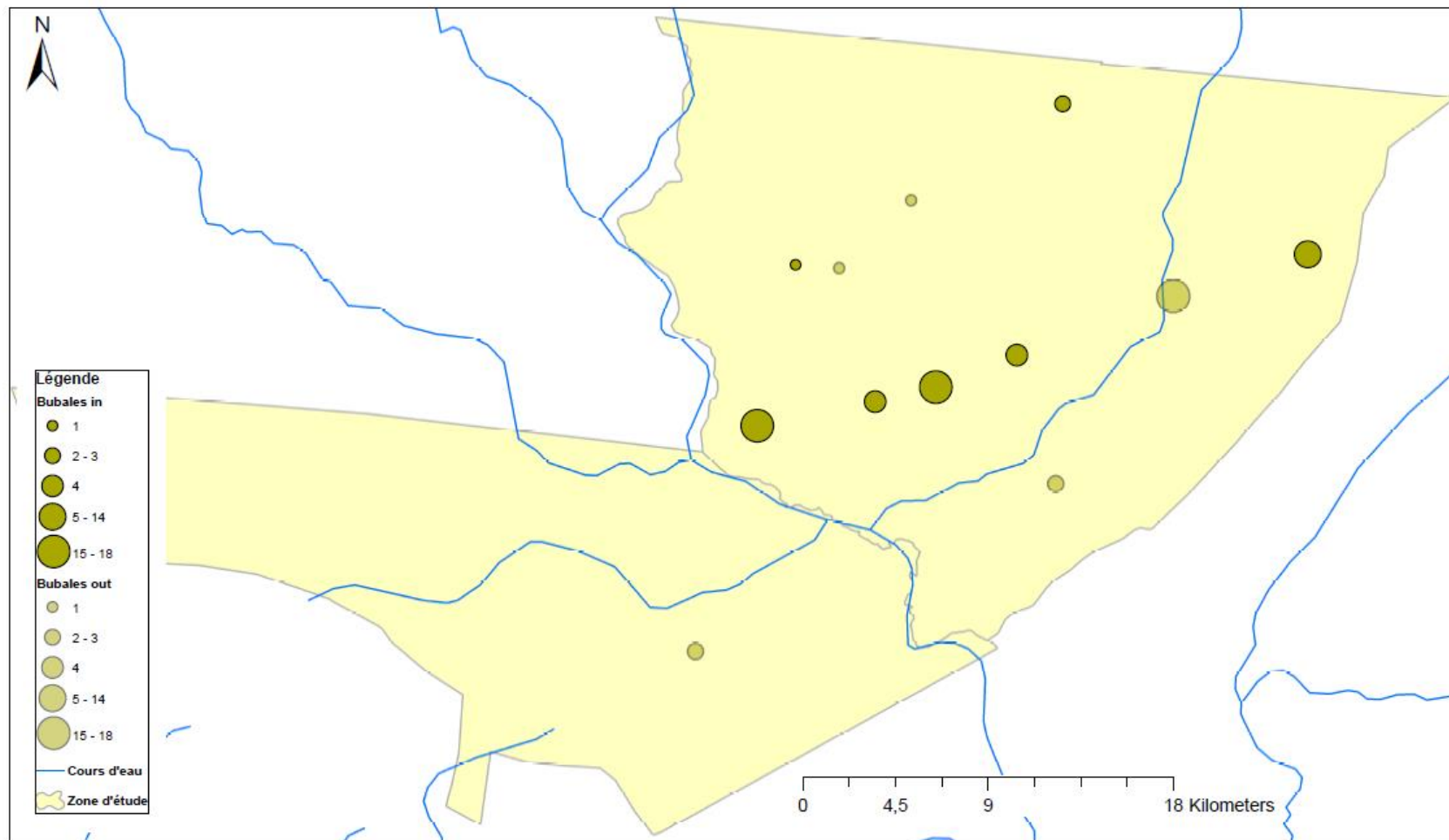
**Annexe 2. Exemple de feuille de comptage réalisée sur Excel à l'aide des informations récoltées en vol (Vol du 18/05/2017).**

Date	Transect	WPT	Heure	Espèce	Nbre	divers
18-05-17	58	1033		GH	1	mâle
18-05-17	59	1034	06:51	OU	1	
18-05-17	59	1035		CE 3	1	OUT
18-05-17	59	1036		HI	25	OUT
18-05-17	60	1037	06:56	CE3	1	
18-05-17	60	1038	06:58	Grand calao	1	
18-05-17	60	1039	06:58	E	6	3 juv
18-05-17	61	1040		E	9+3	out
18-05-17	61	1041		CE3	1	
18-05-17	63	1042	07:18	CE3	1	
18-05-17	63	1043		B	20	out PCN
18-05-17	63	1044		CE3	1	out
18-05-17	63	1045		CE3	1	
18-05-17	63	1046		OU	2	out
18-05-17	63	1046		HI	10	out
18-05-17	64	1047	07:33	RE	1	
18-05-17	64	1048	07:34	CE3	1	
18-05-17	64	1049		?		
18-05-17	64	1050	07:39	E	4	1 juv
18-05-17	64	1051		B	30	out
18-05-17	64	1052		B	40	out
18-05-17	64	1053		DA	20	out
18-05-17	64	1054	07:48	HI	14	+1 out
18-05-17	64	1055	07:50	HI	31	
18-05-17	64	1056	07:51	HI	19	
18-05-17	64	1057	07:54	HI	2	+30 out
18-05-17	65	1058		WA	6	out
18-05-17	65	1058	08:01	CB	4	
18-05-17	65N	1059	08:06	CE3	1	out
18-05-17	65N	1060	08:08	HI	5	+3 out
18-05-17	65N	1061	08:16	E	27	out
18-05-17	65N			B	50	out
18-05-17	66	1062		E	10	out 3 juv
18-05-17	66	1063		PH	6	2 ad+ 4juv
18-05-17	66	1064	08:23	RE	1	
18-05-17	66	1065	08:24	PH	1	male out
18-05-17	66	1066	08:26	OU	2	out
18-05-17	66	1067		B	40	out

18-05-17	66	1068	08:28	B	4	
18-05-17	66	1069	08:29	HI	25	out
18-05-17	66	1070	08:30	CE3	1	out
18-05-17	66	1071	08:32	B	30	OUT
18-05-17	67S	1072	08:39	BU	30	out
18-05-17	67S	1072	08:39	B	30	out
18-05-17	67S	1073	08:46	BU	1	
18-05-17	67	1074	08:42	E	4	
18-05-17	67	1075	08:50	E	2	out 1 fem 1 juv
18-05-17	67	1076	08:51	PH	2	out
18-05-17	67	1077	08:53	CE 3	1	out
18-05-17	68	1078	08:57	CG	1	
18-05-17	68	1079	08:58	CE3	1	out
18-05-17	68	1080	08:59	CG	1	
18-05-17	68	1081		BU	1	out
18-05-17	68	1082	09:04	GH	1	fem
18-05-17	68B	1083	09:12	CG	1	
18-05-17	69C	1084	09:18	HI	2	out
18-05-17	69C	1085	09:22	WA	20	out
18-05-17	69C	1086	09:26	OU	3	
18-05-17	69C	1087	09:32	E	5	out 2 juv
18-05-17	69C	1088	09:33	BU	3	
18-05-17	70	1089		B	1	out
18-05-17	70	1090		E	15	6 juv
18-05-17	70	1091		E	6	3 juv
18-05-17	70	1092	09:39	RE	1	
18-05-17	70	1093	09:45	CE3	1	
18-05-17	70	1094	09:49	BU	17	
18-05-17	70	1095	09:53	CB	4	
18-05-17	70	1096	09:57	BA	10	

Annexe 3. Cartes de la distribution des observations faites depuis l'ULM pour chaque espèce. Les observations hors bandes sont représentées en transparence.

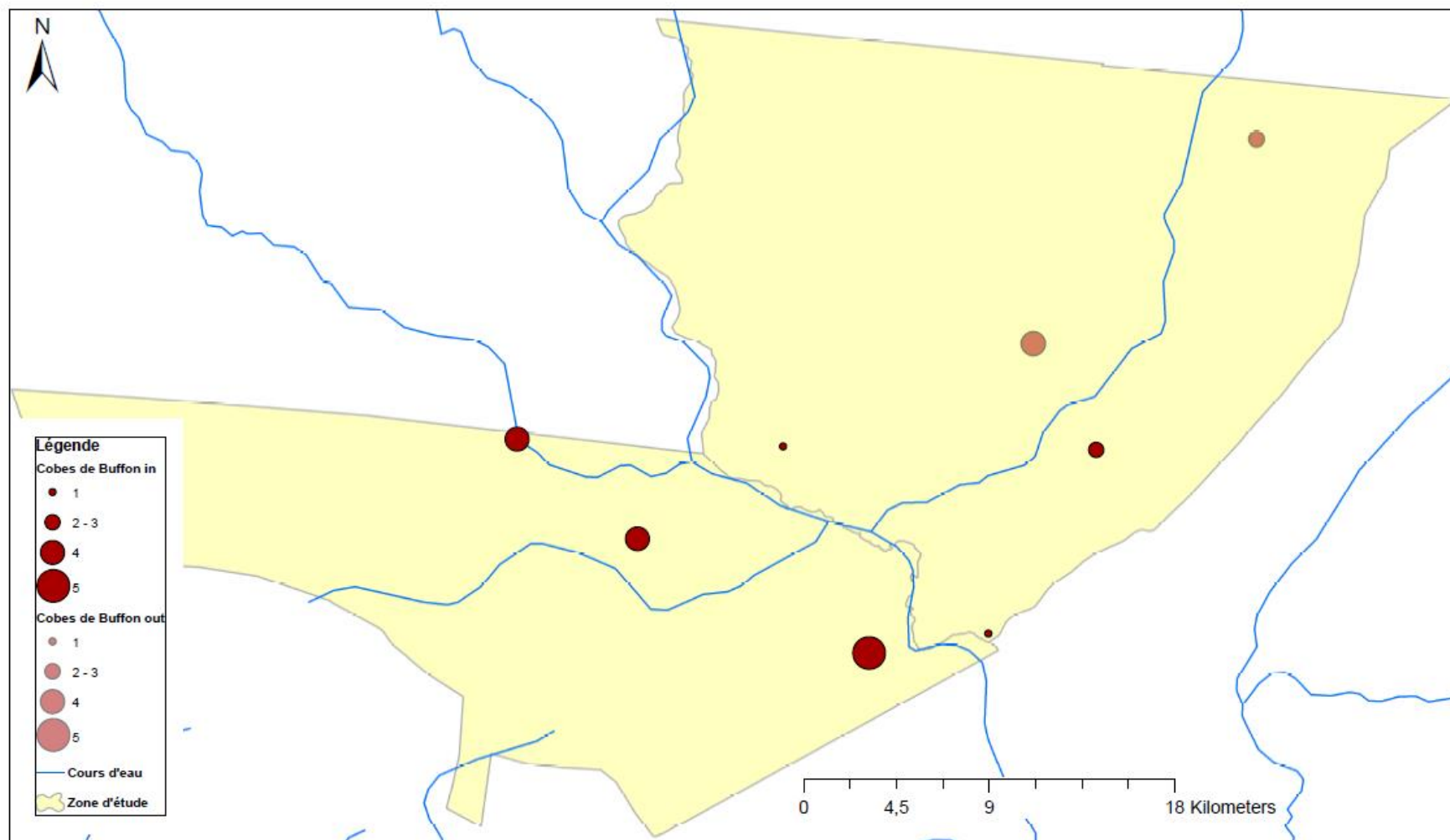




Distribution des effectifs de bubales observés depuis l'ULM.

Mise en page réalisée le 13 août 2017 par Axel Bourdouxhe  
Système de coordonnées : WGS\_1984\_UTM\_Zone\_31N



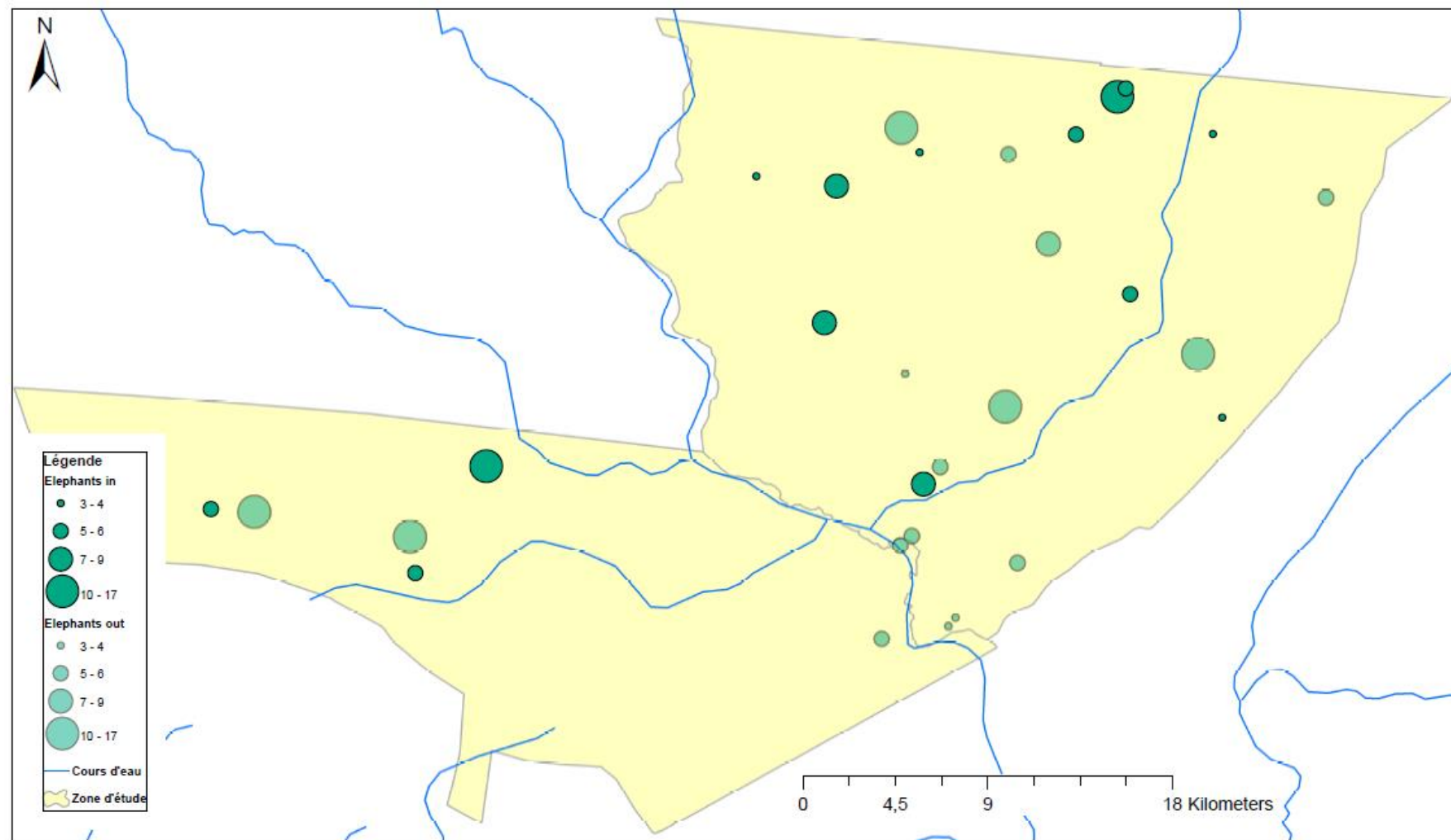


Distribution des effectifs de cobes de Buffon observés depuis l'ULM.

Mise en page réalisée le 13 août 2017 par Axel Bourdouxhe  
Système de coordonnées : WGS\_1984\_UTM\_Zone\_31N



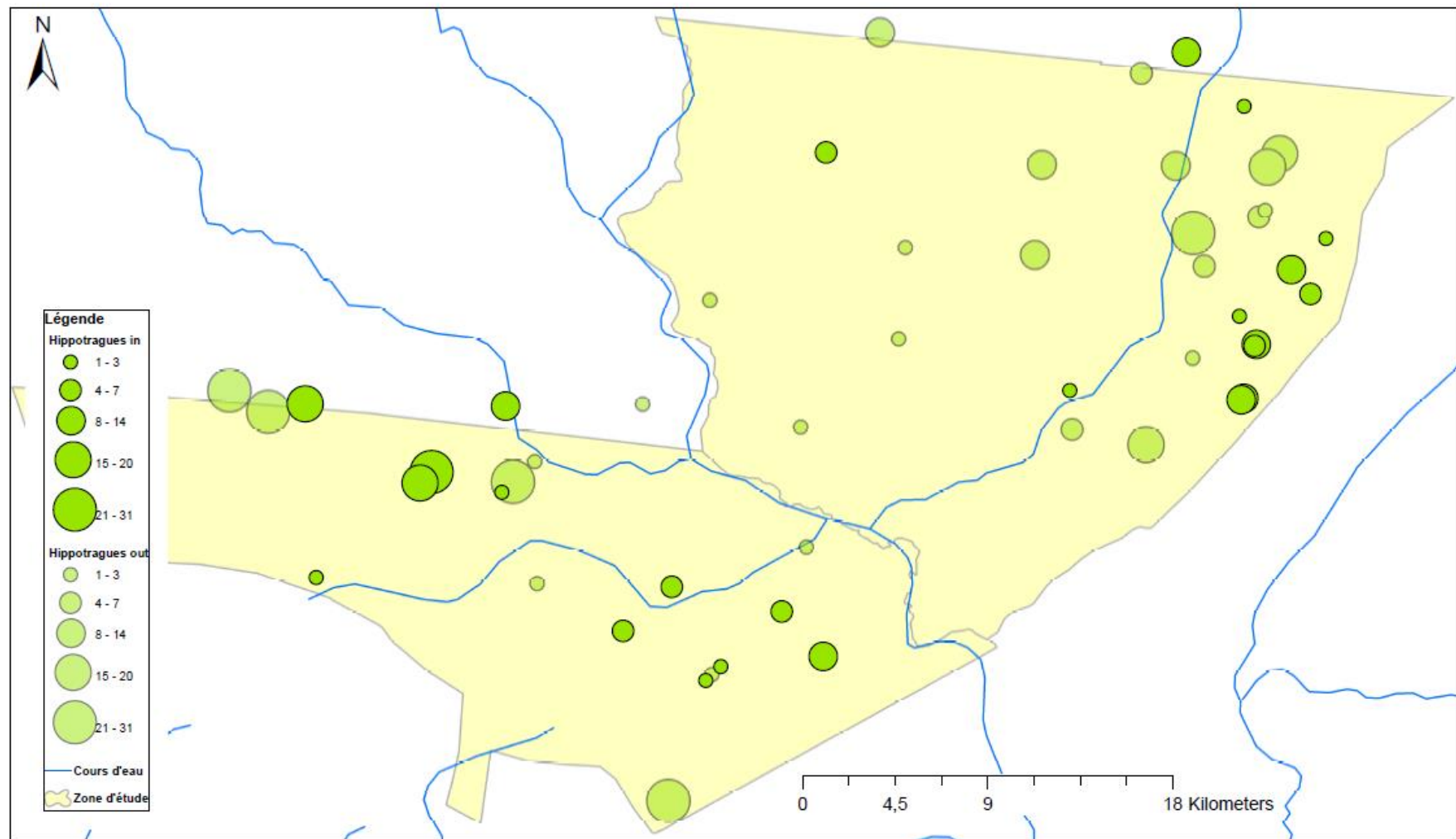




Distribution des effectifs d'éléphants observés depuis l'ULM.



Mise en page réalisée le 13 août 2017 par Axel Bourdouxhe  
Système de coordonnées : WGS\_1984\_UTM\_Zone\_31N



Distribution des effectifs d'hippotragues observés depuis l'ULM.



Mise en page réalisée le 13 août 2017 par Axel Bourdouxhe  
Système de coordonnées : WGS\_1984\_UTM\_Zone\_31N

#### Annexe 4. Détails des analyses réalisées pour les deux passages de l'inventaire aérien par observations directes selon la méthode de Jolly II.

Passage 1 :

T	Long(km)	Larg(km)	Aire(z)	B	BU	CB	E	HI
54	2,6	0,14	0,36	0	0	0	0	0
55	4,8	0,15	0,71	0	0	0	0	0
56	6,7	0,15	0,99	0	0	0	0	0
57	8,3	0,15	1,25	0	0	0	0	0
58	10,3	0,15	1,51	0	0	0	0	0
59	11,1	0,14	1,57	0	0	0	0	0
60	11	0,15	1,60	0	0	0	6	0
61	10,9	0,14	1,58	0	0	0	0	0
62	11	0,15	1,60	0	0	0	0	0
63S	11,3	0,15	1,67	0	0	0	0	0
63N	15,2	0,15	2,21	0	0	0	0	0
64N	11,74	0,14	1,69	0	0	0	4	0
64S	16,24	0,14	2,34	0	0	0	0	52
65N	11,9	0,15	1,75	0	0	0	0	5
65S	17,7	0,14	2,48	0	0	4	0	0
66S	20,1	0,14	2,83	4	0	0	0	6
66N	13,1	0,14	1,89	0	0	0	0	0
67N	14,2	0,15	2,11	0	1	0	6	0
67S	21	0,15	3,08	0	0	0	0	0
68S	23,1	0,14	3,33	0	0	0	0	0
68N	15,4	0,13	2,01	0	0	0	0	0
69S	16,4	0,14	2,25	0	0	0	0	0
69N	26,7	0,14	3,66	0	3	0	0	0
70	45,1	0,15	6,56	0	17	4	20	0
71	48	0,15	7,13	0	0	1	0	0
72	48,6	0,15	7,21	40	4	0	0	9
73	49	0,15	7,30	30	18	0	0	1
74	49	0,15	7,28	11	4	4	0	0
75	49,3	0,14	6,92	8	0	0	0	10
76	48,8	0,14	6,96	0	0	0	5	3
77	49	0,14	7,07	0	0	0	0	14
78	42,5	0,15	6,19	0	14	3	0	0
79	38,5	0,15	5,64	0	0	0	0	6
80	35,8	0,14	5,18	0	0	1	4	12
Σz			117,92	117,92	118,06	118,06	118,06	118,06
Σy				93	61	18	45	118
N troupeau (>10 ind)				3	4	0	1	1
			Σz <sup>2</sup> ou Σy <sup>2</sup>	595,38	2698	851	60	526
R				0,79	0,52	0,15	0,38	1,00
sy <sup>2</sup>				74,11	22,47	1,55	14,15	88,42
sz <sup>2</sup>			5,65	5,65	5,65	5,65	5,65	5,65
szy				9,77	5,56	1,13	1,75	2,77
Y = R . Z				1006	662	190	485	1277
Var(Y)				110358	32320	2370	24164	156898
SE(Y)				332	180	49	155	396
Limite de confiance (±)						653	354	96
CV (%)				33	27	26	32	31

Passage 2 :

T	Long(km)	Larg(km)	Aire(z)	B	BU	CB	E	HI
54	2,6	0,14	0,36	0	0	0	0	0
55	4,8	0,15	0,71	0	0	0	0	0
56	6,7	0,15	0,99	0	0	0	0	0
57	8,3	0,15	1,25	0	0	0	0	0
58	10,3	0,15	1,51	0	0	0	0	0
59	11,1	0,14	1,57	0	0	0	0	0
60	11	0,15	1,60	0	0	0	0	0
61	10,9	0,14	1,58	0	0	0	0	0
62	11	0,15	1,60	0	0	0	0	0
63S	11,3	0,15	1,67	0	0	0	0	11
63N	15,2	0,15	2,21	0	0	0	0	0
64N	11,74	0,14	1,69	0	0	0	0	14
64S	16,24	0,14	2,34	0	0	3	0	20
65N	11,9	0,15	1,75	0	0	0	0	0
65S	17,7	0,14	2,48	0	0	0	25	3
66S	20,1	0,14	2,83	0	0	0	6	1
66N	13,1	0,14	1,89	0	0	0	9	0
67N	14,2	0,15	2,11	0	0	0	0	0
67S	21	0,15	3,08	0	0	0	0	0
68S	23,1	0,14	3,33	0	0	0	0	0
68N	15,4	0,13	2,01	0	0	0	0	0
69S	16,4	0,14	2,30	0	0	0	0	0
69N	26,7	0,14	3,74	0	0	0	8	0
70	45,1	0,15	6,56	50	0	0	5	0
71	48	0,15	7,13	0	0	0	0	0
72	48,6	0,15	7,21	0	0	0	0	5
73	49	0,15	7,30	33	0	0	3	0
74	49	0,15	7,28	0	0	0	0	0
75	49,3	0,14	6,92	0	0	0	13	0
76	48,8	0,14	6,96	0	0	0	0	0
77	49	0,14	7,07	0	0	0	0	0
78	42,5	0,15	6,19	0	0	5	0	15
79	38,5	0,15	5,64	0	0	0	0	17
80	35,8	0,14	5,18	0	0	0	0	10
Σz			118,05	118,05	118,06	118,06	118,06	118,06
Σy				83	0	8	69	96
N troupeau(>10ind)				2	0	0	2	6
Σz <sup>2</sup> ou Σy <sup>2</sup>			596,18	3589	0	34	1014	1366
R				0,70	0,00	0,07	0,59	0,81
sy <sup>2</sup>				102,62	0,00	0,97	26,46	33,18
sz <sup>2</sup>			5,65	5,65	5,65	5,65	5,65	5,65
szy				8,26	0,00	0,30	0,91	1,25
Y =R . Z				901	0	87	750	1042
Var(Y)				166264	0	1699	48442	61841
SE(Y)				408	0	41	220	249
Limite de confiance (±)				802	0	81	433	489
CV (%)				45	0	47	29	24

## Annexe 5. Code R utilisé pour la classification de la végétation

### # préparation des raster

```
#Installation des packages
install.packages("raster")
install.packages("rgeos")
install.packages("rgdal")
install.packages("sp")

#activation des packages
library(raster)
library(rgeos)
library(rgdal)
library(sp)

# info général, chargement data, création de répertoire

rep_SRTM <- 'J:/Axel/Classif/SRTM'# Désignation répertoire SRTM
rep_sentinel <- 'J:/Axel/Classif/Raster_sentinel_tiff' # désignation répertoire sentinel2
rasterOptions(tmpdir='J:/Axel/Classif/Rast_TMP') # répertoire pr raster tmp, permet de changer le
repertoire par défaut
setwd('J:/Axel/Classif/')# répertoire pr raster tmp
lim_site <- shapefile('J:/Axel/Classif/aoi.shp')
lim_site <- spTransform(lim_site,CRS("+init=epsg:32631")) #changement de système de coordonnées
summary(lim_site) #S-on peut voir que le shp est bien projeté (is projected=true)
set.tempdir <- function(path) {
  invisible(.Call(C_setTempDir, path.expand('J:/Axel/Classif/')))
}

##### chargement des données sentinel 1ère partie#####

# création d'une table info sur les données dispo
# list raster resamplé
list_sentinel_tmp <- list.files(rep_sentinel, pattern = '.tif$',full.names = T,recursive = T) # liste de ts les img
dans rép
list_sentinel_tmp <- list_sentinel_tmp[grepl('N_2',list_sentinel_tmp)]

# création de la table
list_sentinel <- data.frame(date = character() , type = character() , layer_name = character() , path =
character() , stringsAsFactors = F)
# ajout info path
list_sentinel[1:length(list_sentinel_tmp),] <- NA
list_sentinel$path <- list_sentinel_tmp
# ajout info type
list_sentinel$type[grepl('L1C',list_sentinel$path)] <- 'L1C'
list_sentinel$type[grepl('L2A',list_sentinel$path)] <- 'L2A'
# ajout date
list_sentinel$date <- sapply(strsplit(list_sentinel$path , '/'),function(x) x[5])
# ajout layer
list_sentinel$layer_name <- sapply(strsplit(list_sentinel$path , '_'),function(x) x[6])
list_sentinel$layer_name <- substr(list_sentinel$layer_name,2,nchar(list_sentinel$layer_name)-8)
# retrait ligne référençant des bandes à 60m
list_sentinel <- list_sentinel[list_sentinel$layer_name!= '09' & list_sentinel$layer_name!= '10' &
list_sentinel$layer_name!= '01' & list_sentinel$layer_name!= 'VI' & list_sentinel$layer_name!= 'CI' , ]

##### chargement des données sentinel 2ème partie (OPER)#####

# création d'une table info sur les données dispo
# list raster resamplé
list_sentinel_tmp_2 <- list.files(rep_sentinel, pattern = '.tif$',full.names = T,recursive = T) # liste de ts les
img dans rép
list_sentinel_tmp_2 <- list_sentinel_tmp_2[grepl('OPER',list_sentinel_tmp_2)]

# création de la table
```

```

list_sentinel_2 <- data.frame(date = character() , type = character() , layer_name = character() , path =
character() , stringsAsFactors = F)
# ajout info path
list_sentinel_2[1:length(list_sentinel_tmp_2),] <- NA
list_sentinel_2$path <- list_sentinel_tmp_2
# ajout info type
list_sentinel_2$type[grepl('L1C',list_sentinel_2$path)] <- 'L1C'
list_sentinel_2$type[grepl('L2A',list_sentinel_2$path)] <- 'L2A'
# ajout date
list_sentinel_2$date <- sapply(strsplit(list_sentinel_2$path , '/'),function(x) x[5])
# ajout layer
list_sentinel_2$layer_name <- sapply(strsplit(list_sentinel_2$path , '_'),function(x) x[15])
list_sentinel_2$layer_name <- substr(list_sentinel_2$layer_name,2,nchar(list_sentinel_2$layer_name)-8)
# retrait ligne référençant des bandes à 60m
list_sentinel_2 <- list_sentinel_2[list_sentinel_2$layer_name!= '09' & list_sentinel_2$layer_name!= '10' &
list_sentinel_2$layer_name!= '01' , ]
#Suppression des lignes NA
list_sentinel_2 <- na.omit(list_sentinel_2)

##### Fusion des deux tables

list_sentinel <- rbind(list_sentinel, list_sentinel_2)

##### création d'un méga raster / date avec les bandes retenues et les indices spectraux

for (date_ref in unique(list_sentinel$date)){
  if (file.exists(paste0(rep_sentinel, '/', date_ref , '/', date_ref ,
'_L1C_310517_ALL_METRICS.tif'))==FALSE){

    list_tmp <- list_sentinel[list_sentinel$date==date_ref,]

    # réordination des bandes
    # bandes sentinel 2 : 2 3 4 5 6 7 8 8A 11 12
    list_tmp <- list_tmp[order(list_tmp$layer_name),]
    list_tmp <- list_tmp[c(1:7 , 10 , 8:9),]

    sentinel <- lapply(list_tmp$path, function(x) crop(raster(x) , extent(gBuffer(lim_site,width=500))))

    Bande_2 <- sentinel[[1]]
    Bande_3 <- sentinel[[2]]
    Bande_4 <- sentinel[[3]]
    Bande_5 <- resample(sentinel[[4]],sentinel[[2]], method="ngb")
    Bande_6 <- resample(sentinel[[5]],sentinel[[2]], method="ngb")
    Bande_7 <- resample(sentinel[[6]],sentinel[[2]], method="ngb")
    Bande_8 <- sentinel[[7]]
    Bande_8A <- resample(sentinel[[8]],sentinel[[2]], method="ngb")
    Bande_11 <- resample(sentinel[[9]],sentinel[[2]], method="ngb")
    Bande_12 <- resample(sentinel[[10]],sentinel[[2]],method="ngb")
    sentinel
  }
}
stack(c(Bande_2,Bande_3,Bande_4,Bande_5,Bande_6,Bande_7,Bande_8,Bande_8A,Bande_11,Bande_12))

rm(Bande_2,Bande_3,Bande_4,Bande_5,Bande_6,Bande_8, Bande_7,Bande_8A,Bande_11,Bande_12)
gc() #nettoie la mémoire cache de R

# indices (-> les mêmes que projet Ardenne)

NDVI <- (sentinel[[7]] - sentinel[[3]]) / (sentinel[[7]] + sentinel[[3]])
NDVI_NIRnarrow <- (sentinel[[8]] - sentinel[[3]]) / (sentinel[[8]] + sentinel[[3]])
Chlogreen <- (sentinel[[8]]) / (sentinel[[2]] + sentinel[[4]])
Norm_NIR <- (sentinel[[7]]) / (sentinel[[7]] + sentinel[[3]] + sentinel[[2]])

```

```

Norm_R <- (sentinel[[3]]) / (sentinel[[7]] + sentinel[[3]] + sentinel[[2]])
Norm_G <- (sentinel[[2]]) / (sentinel[[7]] + sentinel[[3]] + sentinel[[2]])
n_GEMI <- ((2*(sentinel[[8]]^2 - sentinel[[3]]^2)) + (1.5*sentinel[[8]]) + (0.5*sentinel[[3]])) / (sentinel[[8]] +
sentinel[[3]] + 0.5)
GEMI <- (n_GEMI*(1-(0.25*n_GEMI))) - ((sentinel[[3]] - 0.125)/(1 - sentinel[[3]]))
GI <- sentinel[[2]] / sentinel[[3]]
gNDVI <- (sentinel[[8]] - sentinel[[2]]) / (sentinel[[8]] + sentinel[[2]])
MSI <- sentinel[[9]] / sentinel[[8]]
NDrededgeSWIR <- (sentinel[[5]] - sentinel[[10]]) / (sentinel[[5]] + sentinel[[10]])
NDVIre <- (sentinel[[8]] - sentinel[[4]]) / (sentinel[[8]] + sentinel[[4]])
RededgePeakArea <- sentinel[[3]] + sentinel[[4]] + sentinel[[5]] + sentinel[[6]] + sentinel[[8]]

sentinel_PLUS_metrics_1 <- stack(c(NDVI, NDVI_NIRnarrow, Chlogreen, Norm_NIR, Norm_R, Norm_G,
n_GEMI, GEMI, GI, gNDVI, MSI, NDrededgeSWIR, NDVIre, RededgePeakArea))
rm(NDVI, NDVI_NIRnarrow, Chlogreen, Norm_NIR, Norm_R, Norm_G, n_GEMI, GEMI, GI, gNDVI,
MSI, NDrededgeSWIR, NDVIre, RededgePeakArea)
gc()

RTVcore <- 100*(sentinel[[8]] - sentinel[[4]]) - 10*(sentinel[[8]]-sentinel[[2]])
SAVI <- ((sentinel[[8]]-sentinel[[3]])/(sentinel[[8]]+sentinel[[3]]+0.5))*1.5
SR_NIRnarrowBlue <- sentinel[[8]] / sentinel[[1]]
SR_NIRnarrowGreen <- sentinel[[8]] / sentinel[[2]]
SR_NIRnarrowRed <- sentinel[[8]] / sentinel[[3]]
NDWI1 <- (sentinel[[8]] - sentinel[[9]]) / (sentinel[[8]] + sentinel[[9]])
NDWI2 <- (sentinel[[2]] - sentinel[[8]]) / (sentinel[[2]] + sentinel[[8]])
NHI <- (sentinel[[9]] - sentinel[[2]]) / (sentinel[[9]] + sentinel[[2]])
LAnthoC <- sentinel[[6]] / (sentinel[[2]] - sentinel[[4]])
LCaroC <- sentinel[[6]] / (sentinel[[1]] - sentinel[[4]])
LChloC <- sentinel[[6]] / sentinel[[4]]
NDTI <- (sentinel[[9]] - sentinel[[10]]) / (sentinel[[9]] + sentinel[[10]])
RedSWIR1 <- sentinel[[3]] - sentinel[[9]]
STI <- sentinel[[9]] / sentinel[[10]]
SR_BlueRededge1 <- sentinel[[1]]/sentinel[[4]]
SR_BlueRededge2 <- sentinel[[1]]/sentinel[[5]]
SR_BlueRededge3 <- sentinel[[1]]/sentinel[[6]]
SR_NIRnarrowRededge1 <- sentinel[[8]]/sentinel[[4]]
SR_NIRnarrowRededge2 <- sentinel[[8]]/sentinel[[5]]
SR_NIRnarrowRededge3 <- sentinel[[8]]/sentinel[[6]]
BAI <- (sentinel[[1]] - sentinel[[8]])/(sentinel[[8]] + sentinel[[1]])
WBI <- (sentinel[[1]] - sentinel[[3]])/(sentinel[[1]]+sentinel[[3]])

###Indices_Axel

NBR <- (sentinel[[7]] - sentinel[[10]])/(sentinel[[7]]+sentinel[[10]])
SR <- sentinel[[7]]/sentinel[[3]]
EVI <- 2.5* ((sentinel[[7]]-sentinel[[3]])/(sentinel[[7]]+(6*sentinel[[3]]-7.5*sentinel[[1]])+1))
BI <- sqrt(sentinel[[7]]^2+sentinel[[3]]^2)
DVI <- (sentinel[[7]]-sentinel[[3]])

sentinel_PLUS_metrics_2 <- stack(c(sentinel , RTVcore, SAVI, SR_NIRnarrowBlue,
SR_NIRnarrowGreen, SR_NIRnarrowRed, NDWI1, NDWI2, NHI, LAnthoC, LCaroC, LChloC, NDTI,
RedSWIR1, STI, SR_BlueRededge1, SR_BlueRededge2, SR_BlueRededge3, SR_NIRnarrowRededge1,
SR_NIRnarrowRededge2, SR_NIRnarrowRededge3, BAI, WBI, NBR, SR, EVI, BI))
rm(sentinel, NDVI, NDVI_NIRnarrow, Chlogreen, Norm_NIR, Norm_R, Norm_G, n_GEMI, GEMI, GI,
gNDVI, MSI, NDrededgeSWIR, NDVIre, RededgePeakArea, RTVcore, SAVI, SR_NIRnarrowBlue,
SR_NIRnarrowGreen, SR_NIRnarrowRed, NDWI1, NDWI2, NHI, LAnthoC, LCaroC, LChloC, NDTI,
RedSWIR1, STI, SR_BlueRededge1, SR_BlueRededge2, SR_BlueRededge3, SR_NIRnarrowRededge1,
SR_NIRnarrowRededge2, SR_NIRnarrowRededge3, BAI, WBI, NBR, SR, EVI, BI)
gc()

sentinel_PLUS_metrics <- stack(sentinel_PLUS_metrics_1, sentinel_PLUS_metrics_2)
rm(sentinel_PLUS_metrics_1,sentinel_PLUS_metrics_2)
gc()

```

```

# sauvegarde du raster
path <- paste0(rep_sentinel, '/', date_ref, '/', date_ref, '_L1C_310517_ALL_METRICS.tif', collapse = NULL)

writeRaster(sentinel_PLUS_metrics, filename = path, format="GTiff", overwrite=TRUE)

rm(sentinel, NDVI, NDVI_NIRnarrow, Chlogreen, Norm_NIR, Norm_R, Norm_G, n_GEMI, GEMI, GI,
gNDVI, MSI, NDrededgeSWIR, NDVIre, RededgePeakArea, RTVcore, SAVI, SR_NIRnarrowBlue,
SR_NIRnarrowGreen, SR_NIRnarrowRed, NDWI1, NDWI2, NHI, LAnthoC, LCaroC, LChloC, NDTI,
RedSWIR1, STI, SR_BlueRededge1, SR_BlueRededge2, SR_BlueRededge3, SR_NIRnarrowRededge1,
SR_NIRnarrowRededge2, SR_NIRnarrowRededge3, BAI, WBI, NBR, SR, EVI, BI)
gc()

print(paste('doing L1C .... DONE date : ', date_ref))
print(Sys.time())

}else{next}}

# fusionner SRTM

list_tif <- list.files(rep_SRTM, pattern = '.tif$', full.names = T, recursive = T)
Tif_1 <- raster(list_tif[[1]])
Tif_2 <- raster(list_tif[[2]])
Tif <- merge(Tif_1, Tif_2)
Tif_proj <- projectRaster(Tif, crs = '+proj=utm +zone=31 +ellps=WGS84 +datum=WGS84 +units=m +no_defs'
)
srtm <- crop(Tif_proj, extent(gBuffer(lim_site,width=500)))
pente <- terrain(srtm,opt='slope', unit = 'degrees')

srtm <- stack(srtm, pente)
rm(Tif_1,Tif_2,Tif_proj, pente)
gc()

writeRaster(srtm,paste0(rep_SRTM,'/', 'srtm_composite_up.tif'))
layer_ref_SRTM <- c('DEM', 'SLOPE')
write.csv2(layer_ref_SRTM, paste0(rep_SRTM, '/',srtm_composite_DICO_LAYERS.csv'), quote = F,
row.names = F)

#####
# # créer une table explicative de ce qu'il y a dans les MEGA composite :-)

layer_ref_L1C <- layer_ref_L2A <- data.frame(date = character(), layer_name = character(),
stringsAsFactors = F)

layer_ref <- c("B2", "B3", "B4", "B5", "B6", "B7", "B8", "B8A", "B11", "B12", 'NDVI',
'NDVI_NIRnarrow', 'Chlogreen', 'Norm_NIR', 'Norm_R', 'Norm_G', 'n_GEMI', 'GEMI', 'GI', 'gNDVI',
'MSI', 'NDrededgeSWIR', 'NDVIre', 'RededgePeakArea', 'RTVcore', 'SAVI', 'SR_NIRnarrowBlue',
'SR_NIRnarrowGreen', 'SR_NIRnarrowRed', 'NDWI1', 'NDWI2', 'NHI', 'LAnthoC', 'LCaroC', 'LChloC',
'NDTI', 'RedSWIR1', 'STI', 'SR_BlueRededge1', 'SR_BlueRededge2', 'SR_BlueRededge3',
'SR_NIRnarrowRededge1', 'SR_NIRnarrowRededge2', 'SR_NIRnarrowRededge3', 'BAI', "WBI", "NBR",
"SR", "EVI", "BI")

for ( date in unique(list_sentinel$date) ) {
  layer_ref_L1C[(nrow(layer_ref_L1C)+1) : (nrow(layer_ref_L1C)+50) , ] <- cbind(date, layer_ref)
}

for ( date in unique(list_sentinel_L2A$date) ) {
  layer_ref_L2A[(nrow(layer_ref_L2A)+1) : (nrow(layer_ref_L2A)+46) , ] <- cbind(date, layer_ref)
}

layer_ref_L1C[(nrow(layer_ref_L1C)+1) : (nrow(layer_ref_L1C) + length(layer_ref_SRTM) ), ] <-
cbind('SRTM',layer_ref_SRTM)
layer_ref_L2A[(nrow(layer_ref_L2A)+1) : (nrow(layer_ref_L2A) + length(layer_ref_SRTM) ), ] <-
cbind('SRTM',layer_ref_SRTM)

```



```
# sauver
write.csv2(layer_ref_L1C , paste0(rep_sentinel , '/COMPOSITE//DICO_LAYERS_sentinel_L1C_All.csv') ,
quote = F , row.names = F)
write.csv2(layer_ref_L2A , paste0(rep_sentinel , '/COMPOSITE//DICO_LAYERS_sentinel_ALL_L2A.csv') ,
quote = F , row.names = F)
```

## # Extraction de l'info spectrale et génération d'une base de données de référence

```
install.packages("raster")
install.packages("rgeos")
install.packages("VSURF")
install.packages("doSNOW")
install.packages("foreach")
install.packages("randomForest")
install.packages("parallel")
install.packages("plyr")

library(raster)
library(rgeos)
library(VSURF)
library(doSNOW)
library(foreach)
library(randomForest)
library(parallel)
library(plyr)
# info général, chargement data

rep_SRTM <- 'C:/TFE_AXEL/Classif04082017/SRTM# Désignation répertoire SRTM
rep_sentinel <- 'C:/TFE_AXEL/Classif04082017/Raster_sentinel_tiff # désignation répertoire sentinel2
rasterOptions(tmpdir='C:/TFE_AXEL/Classif04082017/Rast_TMP') # répertoire pr raster tmp, permet de
changer le repertoire par défaut
prj_31N <- CRS("+init=epsg:32631") # proj de référence
tmpdir <- function() { 'C:/TFE_AXEL/Classif04082017/Rast_TMP' }
setwd('C:/TFE_AXEL/Classif04082017/')# répertoire pr raster tmp

# chargement des données sentinel
list_tif <- list.files(rep_sentinel, pattern = '_L1C_280717_ALL_METRICS.tif$',full.names = T,recursive = T)

sentinel_L1C <- lapply(list_tif[grepl('L1C',list_tif)] , function(x) stack(x))
sentinel_L1C <- stack(sentinel_L1C)

sentinel_L2A <- lapply(list_tif[grepl('L2A',list_tif)] , function(x) stack(x))
sentinel_L2A <- stack(sentinel_L2A)

# ajout donnée SRTM
srtm <- stack(paste0(rep_SRTM , '/srtm_composite_280717.tif' ))

#####
# chargement de la BD photointerprétation
BD_ref <- shapefile('C:/TFE_AXEL/Classif04082017/Classif_training_all.shp')
limite <- shapefile('C:/TFE_AXEL/Classif04082017/aoi.shp')
BD_ref <- crop(BD_ref,limite)

BD_ref <- spTransform(BD_ref,CRS("+init=epsg:32631"))
BD_ref@data$Surface <- gArea(BD_ref,byid = T)

BD_ref@data$Id_plot <- 1:nrow(BD_ref@data)

#####
#####
# check répartition classes
```

```

table(BD_ref@data$Classname)
#####
#####

# création champ : n observation pour la classe considérée
for (Classname in unique(BD_ref@data$Classname)){
  BD_ref@data$Classname_imp[BD_ref@data$Classname == Classname ] <-
length(which(BD_ref@data$Classname == Classname))
}

# BD_ref <- BD_ref[BD_ref@data$class_imp >= 18 , ]

# s'assurer l'homogénéité de la référence de la projection
proj4string(srtm) <- proj4string(sentinel_L1C) <- proj4string(BD_ref) <- prj_31N
srtm <- resample(srtm,sentinel_L1C, method='ngb')

sentinel_L1C <- stack(sentinel_L1C,srtm)
#sentinel_L2A <- stack(sentinel_L2A,srtm)#

dico_layer_L1C <- read.csv2(paste0(rep_sentinel
'/COMPOSITE/DICO_LAYERS_sentinel_L1C_8dates.csv'), sep=";", stringsAsFactors=FALSE)
#dico_layer_L2A <- read.csv(paste0(rep_sentinel , '/COMPOSITE/DICO_LAYERS_sentinel_ALL_L2A.csv'),
sep=";", stringsAsFactors=FALSE)#

# extract info spectrale
n_iteration <- nrow(BD_ref@data)

cl <- makeCluster( (as.numeric(Sys.getenv('NUMBER_OF_PROCESSORS'))- 1) ) #change the 2 to your
number of CPU cores
registerDoSNOW(cl)

spectral_data_L1C <- foreach(i = 1:n_iteration, .combine = rbind, .packages = 'raster') %dopar%{
  plot_tmp <- BD_ref[i,]

  sentinel_L1C_tmp <- crop(sentinel_L1C , extent(plot_tmp))

  spectral_data_tmp_L1C <- extract(sentinel_L1C_tmp, plot_tmp,df = T)[-1]

  n_pixel <- nrow(spectral_data_tmp_L1C)

  tmp <- as.data.frame(matrix(NA_real_ , ncol = (nrow(dico_layer_L1C)+2) , nrow = 0))

  if (n_pixel == 0){next}else{ # cas où l'objet est trop petit

    # ajouter X ligne par pixel qui tombe dans le poly i et ajouter les valeurs des bandes

    tmp[(1 : n_pixel) , ] <- cbind.data.frame( BD_ref@data$Classname[i] ,BD_ref@data$Id_plot[i] ,
spectral_data_tmp_L1C , stringsAsFactors = F )

  }
  return(tmp)
}
stopCluster(cl)

#####L2A#####

cl <- makeCluster( (as.numeric(Sys.getenv('NUMBER_OF_PROCESSORS'))- 1))
registerDoSNOW(cl)

spectral_data_L2A <- foreach(i = 1:n_iteration, .combine=rbind ,.packages='raster')%dopar% {

  plot_tmp <- BD_ref[i,]

```

```

sentinel_L1C_tmp <- crop(sentinel_L1C , extent(plot_tmp))

spectral_data_tmp_L1C <- extract(sentinel_L1C_tmp, plot_tmp,df = T)[-1]

n_pixel <- nrow(spectral_data_tmp_L1C)

tmp <- as.data.frame(matrix(NA_real_ , ncol = (nrow(dico_layer_L1C)+2) , nrow = 0))

if (n_pixel == 0){next}else{# cas où l'objet est trop petit

  # ajouter X ligne par pixel qui tombe dans le poly i et ajouter les valeurs des bandes

  tmp[(i : n_pixel) , ] <- cbind.data.frame.fill(BD_ref@data$Vegetation[i] ,BD_ref@data$Id_plot[i] ,
spectral_data_tmp_L1C , stringsAsFactors = F )
}
  return(tmp)
}
stopCluster(cl)

# nommer proprement les colonnes
names(spectral_data_L1C) <- c('Class' , 'Id_plot', paste0(dico_layer_L1C$layer_name , '_' ,
dico_layer_L1C$date))
names(spectral_data_L2A) <- c('Class' , 'Id_plot', paste0(dico_layer_L2A$layer_name , '_' ,
dico_layer_L2A$date))

# création des indices delta
spectral_data_L1C$Delta_NDVI <- spectral_data_L1C$NDVI_20161029 -
spectral_data_L1C$NDVI_20161218
spectral_data_L1C$Delta_NBR <- spectral_data_L1C$NBR_20170318 - spectral_data_L1C$NBR_20161029

# sauvegarder la BD
write.csv2(spectral_data_L1C,'C:/TFE_AXEL/Classif04082017/Results/BD_ref/BD_ref_L1C_8dates_0408217.
csv',row.names = F)
write.csv2(spectral_data_L2A,'W:/Sentinel_2/RESULT/BD_REF/BD_ref_L2A_19072016.csv',row.names = F)

# Random forest et création de la carte de végétation
library(parallel)
library(raster)
library(rgeos)
library(VSURF)
library(randomForest)
install.packages("rfUtilities")
library(rfUtilities)

# info général, chargement data
rep_SRTM <- 'C:/TFE_AXEL/Classif04082017/SRTM'# Désignation répertoire SRTM
rep_sentinel <- 'C:/TFE_AXEL/Classif04082017/Raster_sentinel_tiff' # désignation répertoire sentinel2
rasterOptions(tmpdir='C:/TFE_AXEL/Classif04082017/Rast_TMP') # répertoire pr raster tmp, permet de
changer le repertoire par défaut
prj_31N <- CRS("+init=epsg:32631") # proj de référence
tempdir <- function(path) {
  invisible(.Call(C_setTempDir, path.expand( "C:/TFE_AXEL/Classif04082017/Rast_TMP"))))
}
setwd('C:/TFE_AXEL/Classif04082017/')# répertoire pr raster tmp

# charger info BD_ref
spectral_data_L1C <- na.omit(read.csv2('C:/TFE_AXEL/Classif04082017/Results/BD_ref/BD_ref_L1C_8dates_0408217.csv'))
spectral_data_L2A <- na.omit(read.csv2('W:/Sentinel_2/RESULT/BD_REF/BD_ref_L2A_19072016.csv'))

# RF classifier

```

```

# équilibrage des classes avant RF

n_min <- min(table(spectral_data_L1C[,1]))

RF_L1C <- as.data.frame(matrix(NA_real_ , ncol = (ncol(spectral_data_L1C)+2) , nrow = 0))
RF_L2A <- as.data.frame(matrix(NA_real_ , ncol = (ncol(spectral_data_L2A)+2) , nrow = 0))

for (level in unique(spectral_data_L1C[,1])){
  tmp <- spectral_data_L1C[spectral_data_L1C[,1] == level , ]
  tmp <- tmp[sample(1:nrow(tmp) , n_min , replace = FALSE) , ]
  RF_L1C <- rbind(RF_L1C , tmp )
  rm(tmp)
  # tmp <- spectral_data_L2A[spectral_data_L2A[,1] == level , ]
  # tmp <- tmp[sample(1:nrow(tmp) , n_min , replace = FALSE) , ]
  # RF_L2A <- rbind(RF_L2A , tmp )
}

n_min <- min(table(spectral_data_L2A[,1]))
for (level in unique(spectral_data_L2A[,1])){
  # tmp <- spectral_data_L1C[spectral_data_L1C[,1] == level , ]
  # tmp <- tmp[sample(1:nrow(tmp) , n_min , replace = FALSE) , ]
  # RF_L1C <- rbind(RF_L1C , tmp )
  # rm(tmp)
  tmp <- spectral_data_L2A[spectral_data_L2A[,1] == level , ]
  tmp <- tmp[sample(1:nrow(tmp) , n_min , replace = FALSE) , ]
  RF_L2A <- rbind(RF_L2A , tmp )
}

# factorisation avant usage ds RF
class_L1C <- factor(RF_L1C[,1])
RF_L1C <- RF_L1C[, -1]
RF_L1C <- RF_L1C[, -1]

class_L2A <- factor(RF_L2A[,1])
RF_L2A <- RF_L2A[, -1]
RF_L2A <- RF_L2A[, -1]

# sélection VSURF L1C avec SRTM
print(Sys.time())
VSURF_L1C_SRTM <- VSURF(class_L1C~ ., data=RF_L1C , parallel = TRUE, ncores = detectCores() - 1)
summary(VSURF_L1C_SRTM)
print(VSURF_L1C_SRTM)
plot(VSURF_L1C_SRTM)
var_I_VSURF_L1C_SRTM <- names(RF_L1C[VSURF_L1C_SRTM$varselect.thres])
print(var_I_VSURF_L1C_SRTM)
var_II_VSURF_L1C_SRTM <- names(RF_L1C[VSURF_L1C_SRTM$varselect.interp])
print(var_II_VSURF_L1C_SRTM)
var_III_VSURF_L1C_SRTM <- names(RF_L1C[VSURF_L1C_SRTM$varselect.pred])
print(var_III_VSURF_L1C_SRTM)
print(VSURF_L1C_SRTM$mean.perf)

# modèle RF L1C SRTM
RF_L1C_SRTM <- randomForest(class_L1C~ ., data=RF_L1C[,var_III_VSURF_L1C_SRTM], ntree=2000 ,
importance=TRUE)
print(RF_L1C_SRTM)
varImpPlot(RF_L1C_SRTM,sort=TRUE,n.var=5)

#####
#####
#####
##### générer une carte
#####
#####
#####

```

```

# chargement des données sentinel
list_tif <- list.files(rep_sentinel, pattern = '_L1C_280717_ALL_METRICS.tif$', full.names = T, recursive = T)
sentinel_L1C <- lapply(list_tif[grepl('L1C', list_tif)], function(x) stack(x))
#sentinel_L2A <- lapply(list_tif[grepl('L2A', list_tif)], function(x) stack(x))
sentinel_L1C <- stack(sentinel_L1C)
#sentinel_L2A <- stack(sentinel_L2A)
# ajout donnée SRTM

srtm <- stack(paste0(rep_SRTM , '/srtm_composite_280717.tif' ))
srtm <- resample(srtm, sentinel_L1C, method='ngb')

# s'assurer l'homogénéité de la référence de la projection
proj4string(sentinel_L1C) <- proj4string(BD_ref) <- prj_31N
sentinel_L1C <- stack(sentinel_L1C, srtm)
#sentinel_L2A <- stack(sentinel_L2A, srtm)
dico_layer_L1C <- read.csv(paste0(rep_sentinel , '/COMPOSITE/DICO_LAYERS_sentinel_L1C_8dates.csv'),
sep=";", stringsAsFactors=FALSE)
#dico_layer_L2A <- read.csv(paste0(rep_sentinel , '/COMPOSITE/DICO_LAYERS_sentinel_ALL_L2A.csv'),
sep=";", stringsAsFactors=FALSE)

## SUPER important, bien gérer les noms de bandes !
names(sentinel_L1C) <- paste0(dico_layer_L1C$layer_name , '_' , dico_layer_L1C$date)
#names(sentinel_L2A) <- paste0(dico_layer_L2A$layer_name , '_' , dico_layer_L2A$date)

# PRODUCTION DE LA CARTE

model_RF <- RF_L1C_SRTM
raster_SRC <- sentinel_L1C
rm(RF_L1C_SRTM, sentinel_L1C)
gc()
print(Sys.time())
vege_map <- predict(raster_SRC , model_RF)
vege_map@data@attributes #légende
write.table(vege_map@data@attributes, 'C:/TFE_AXEL/Classif04082017/Results/Vegetationvege_map_RF_L1
C_SRTM_LEGEND_8dates.txt')
writeRaster(vege_map
'C:/TFE_AXEL/Classif04082017/Results/vege_map_RF_L1C_SRTM_8dates.tif', dataType = 'INT1U',
overwrite=T)
print(Sys.time())

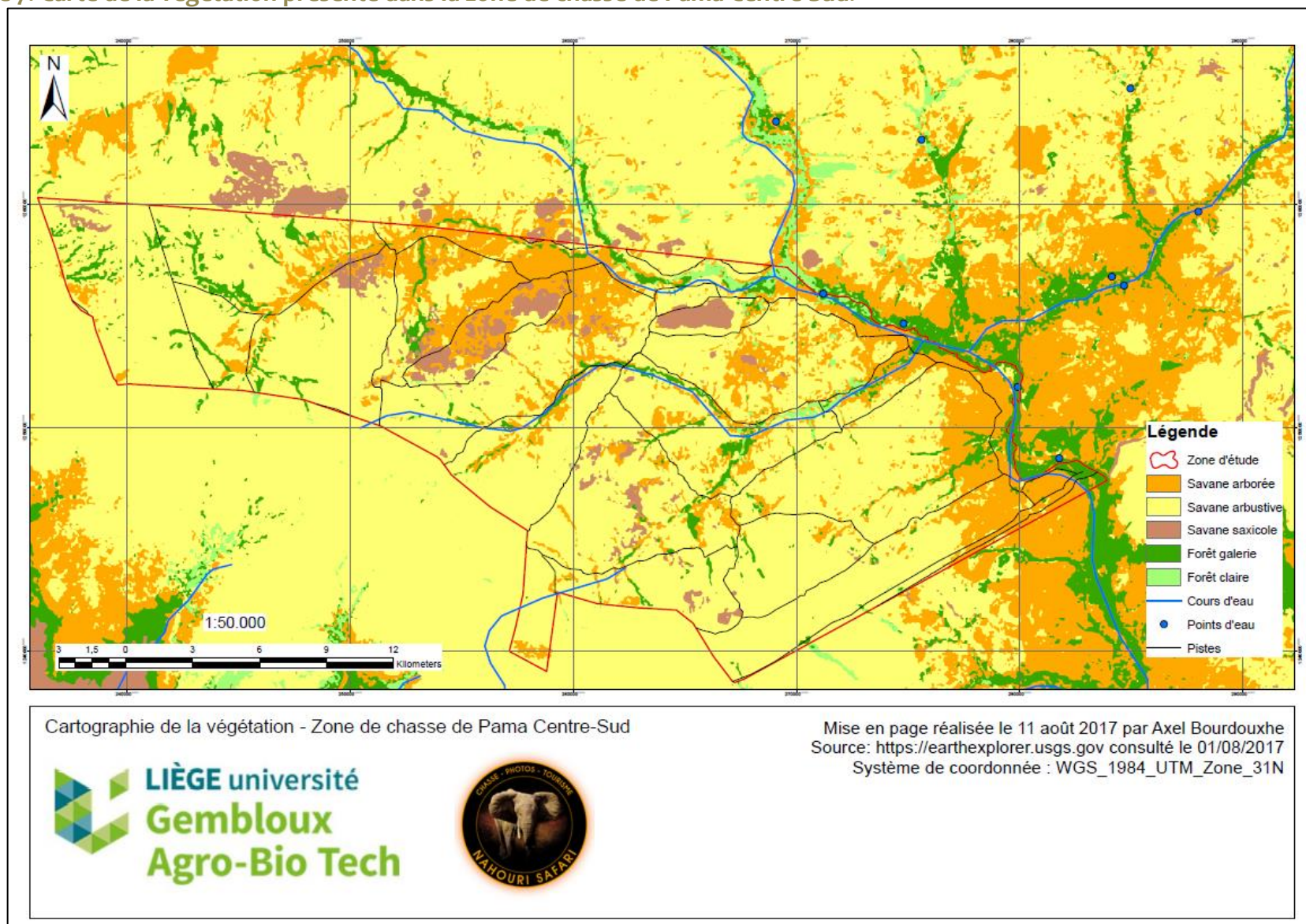
```

## Annexe 6. Liste des indices spectraux utilisés dans le modèle de classification.

Type d'indice	Acronyme	Indice spectral	Formule	Ref.
Végétation	Chlogreen	Chlorophyll Green index	$NIR_{narrow}/Green + Rededge1$	(Datt 1999)
	GEMI	Global Environment Monitoring Vegetation Index	$n \times (1 - 0.25n) - (Ref - 0.125/1 - Ref)$ $n = (2 \times (NIR_{narrow}^2 - Red^2) + 1.5 \times NIR_{narrow} + 0.5 \times Ref) / (NIR_{narrow} + Ref + 0.5)$	(Pinty et Verstraete 1992)
	GI	Greenness Index	$Green/red$	(le Maire, François, et Dufrène 2004)
	gNDVI	Green normalized difference vegetation index	$NIR_{narrow} - Green / NIR_{narrow} + Green$	(Gitelson, Kaufman, et Merzlyak 1996)
	LAnthoC	Leaf Anthocyanid Content	$Rededge3/Green - Rededge1$	(Wulf et Stuhler 2015)
	LCaroC	Leaf Carotenoid Content	$Rededge3/Blue - Rededge1$	(Wulf et Stuhler 2015)
	LChloC	Leaf Chlorophyll Content	$Rededge3/Rededge1$	(Wulf et Stuhler 2015)
	NDrededgeSWIR	Normalized Difference of Red-edge and SWIR2	$Rededge2 - SWIR2 / Rededge2 + SWIR2$	(Radoux et al. 2016)
	NDTI	Normalized Difference Tillage Index	$SWIR1 - SWIR2 / SWIR1 + SWIR2$	(Van Deventer et al. 1997)
	NDVI	Normalized difference vegetation index	$NIR_{narrow} - Red / NIR_{narrow} + Red$	(Tucker 1979)
	NDVIre	Red-edge normalized difference vegetation index	$NIR_{narrow} - Rededge1 / NIR_{narrow} + Rededge1$	(Gitelson, Kaufman, et Merzlyak 1996)
	Norm-G	Normalized Green	$pGreen / pNIR_{wide} + pRed + pGreen$	(Sripada et al. 2006)
	Norm-NIR	Normalized Near Infra-red	$pNIR_{wide} / pNIR_{wide} + pRed + pGreen$	(Sripada et al. 2006)
	Norm-R	Normalized red	$pRed / pNIR_{wide} + pRed + pGreen$	(Sripada et al. 2006)
	RededgePeakArea	Red-edge peak area	$Red + Rededge1 + Rededge2 + Rededge3 + NIR_{narrow}$	(Filella et Penuelas 1994; Radoux et al. 2016)
	RedSWIR1	Bands difference	$Red - SWIR1$	(Jacques et al. 2014)
	RTVlcore	Red-edge Triangular Vegetation Index	$100 \times (NIR_{narrow} - Rededge1) - 10 \times (NIR_{narrow} - Green)$	(Chen et al. 2010)
	SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index	$NIR_{narrow} - Red / NIR_{narrow} + Red + 0.5$	(Huete 1988)
	SR-BlueRededge1	Simple Blue and Red-edge 1 Ratio	$Blue / Rededge1$	(le Maire, François, et Dufrène 2004)
	SR-BlueRededge2	Simple Blue and Red-edge 2 Ratio	$Blue / Rededge2$	(Lichtenthaler et al. 1996)
	SR-BlueRededge3	Simple Blue and Red-edge 3 Ratio	$Blue / Rededge3$	(Radoux et al. 2016)
	SR-NIRnarrowBlue	Simple ratio NIR narrow and Blue	$NIR_{narrow} / Blue$	(Blackburn 1998)
	SR-NIRnarrowGreen	Simple ratio NIR narrow and Green	$NIR_{narrow} / Green$	(le Maire, François, et Dufrène 2004)
	SR-NIRnarrowRed	Simple ratio NIR narrow and Red	$NIR_{narrow} / Red$	(Blackburn 1998)
	SR-NIRnarrowRededge1	Simple NIR and Red-edge 1 Ratio	$NIR_{narrow} / Rededge1$	(Datt 1999)
	SR-NIRnarrowRededge2	Simple NIR and Red-edge 2 Ratio	$NIR_{narrow} / Rededge2$	(Radoux et al. 2016)
	SR-NIRnarrowRededge3	Simple NIR and Red-edge 3 Ratio	$NIR_{narrow} / Rededge3$	(Radoux et al. 2016)
	EVI	Enhanced Vegetation Index	$2.5 * ((NIR - RED) / ((NIR + 6RED - 7.5BLUE) + 1))$	(Ahamed et al. 2011)
Eau	NDWI1	Normalized Difference Water Index 1	$NIR_{narrow} - SWIR1 / NIR_{narrow} + SWIR1$	(Gao 1996)
	NDWI2	Normalized Difference Water Index 2	$Green - NIR_{narrow} / Green + NIR_{narrow}$	(Gitelson, Kaufman, et Merzlyak 1996)
	NHI	Normalized Humidity Index	$SWIR1 - Green / SWIR1 + Green$	(Lacaux et al. 2007)
	MSI	Moisture stress index	$SWIR1 / NIR_{narrow}$	(Vogelmann et Rock 1985)

	STI	<i>Soil Tillage Index</i>	<i>SWIR1/SWIR2</i>	(Van Deventer et al.1997)
	WBI	<i>Water Body Index</i>	<i>Blue - Red/Blue + Red</i>	(Domenech et Mallet2014)
Feu	NBR	<i>Normalized Burn Ratio</i>	<i>NIR-SWIR/NIR+SWIR</i>	(Key et al. 2002)
	BI	<i>Brightness Index</i>	<i>Sqrt(NIR<sub>narrow</sub><sup>2</sup>+Red<sup>2</sup>)</i>	(Escadafal, 1994)
	SR	<i>Simple Ratio 800/600</i>	<i>NIR/red</i>	(Ahamed et al. 2011)
	DVI	<i>Difference Vegetation Index</i>	<i>NIR-red</i>	(Fernandez et al.,2016)
	GNDVI	<i>Green Normalized Difference Vegetation Index</i>	<i>NIR-green/NIR+Green</i>	(Fernandez et al.,2016)
Autre	BAI	<i>Built-up Area Index</i>	<i>Blue - NIR<sub>narrow</sub>/Blue + NIR<sub>narrow</sub></i>	(Shahi et al. 2015)

## Annexe 7. Carte de la végétation présente dans la zone de chasse de Pama Centre-Sud.





## Annexe 8. Carte de la végétation présente dans la zone de chasse de Konkombouri.

