

MARDI DE LEWAP

LES RENCONTRES RECHERCHE ET GRAND PUBLIC

HYDROLOGIE ET GESTION DES BASSINS VERSANTS MEDITERRANEENS

هيدرولوجيا وإدارة أحواض مياه البحر المتوسط

Dr. Antoine ALLAM
Ingénieur Hydrologue
Montpellier SupAgro, ESIB USJ

Mardi 15 Décembre 2020

PLAN

I. HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

- i. Frontières méditerranéennes
- ii. Climat méditerranéen
- iii. Paysage méditerranéen
- iv. Régimes hydrologiques

II. DISTRIBUTION DES RESSOURCES

- i. Saisonnalité et aridité
- ii. Homogénéité et variabilité des bassins

III. EVOLUTION ET DEFIS

- I. Anthropique
- II. Climatique

IV. PERSPECTIVES SUR LA GESTION

- i. Optimisation des stratégies nationales
- ii. Stratégies de collaborations

PLAN

I. HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

- i. Frontières méditerranéennes
- ii. Climat méditerranéen
- iii. Paysage méditerranéen
- iv. Régimes hydrologiques

II. DISTRIBUTION DES RESSOURCES

- i. Saisonnalité et aridité
- ii. Homogénéité et variabilité des bassins

III. EVOLUTION ET DEFIS

- I. Anthropique
- II. Climatique

IV. PERSPECTIVES SUR LA GESTION

- i. Optimisation des stratégies nationales
- ii. Stratégies de collaborations

CONTEXTE GENERAL

ALEAS, INTERETS ET DEFIS

- Une des régions les plus sensibles aux variations climatiques et aux pressions anthropiques.
500 M habitants et 410 M touristes
(Milano, 2012; Blinda & Giraud, 2012; Fernandez & al, 2014; WTO, 2019)
- Tendence vers un réchauffement et une aridification
(IPCC, 2014; Trambly et al., 2013; Dell'Aquila et al. 2018; Drobinski et al., 2018; Trambly et al., 2018; Beck et al., 2018; Barredo et al., 2019)
- Régimes des cours d'eau affectés profondément, crues, étiages, réduction eaux fraîches et agriculture
(Milano et al. 2013; Llasat et al., 2013)
- Variabilité interannuelle et intra-annuelle importante des termes du bilan hydrologique

OBJECTIFS



Caractériser l'hydrologie des bassins méditerranéens pour les besoins de la gestion de la ressource en eau et l'étude de l'impact des changements climatiques

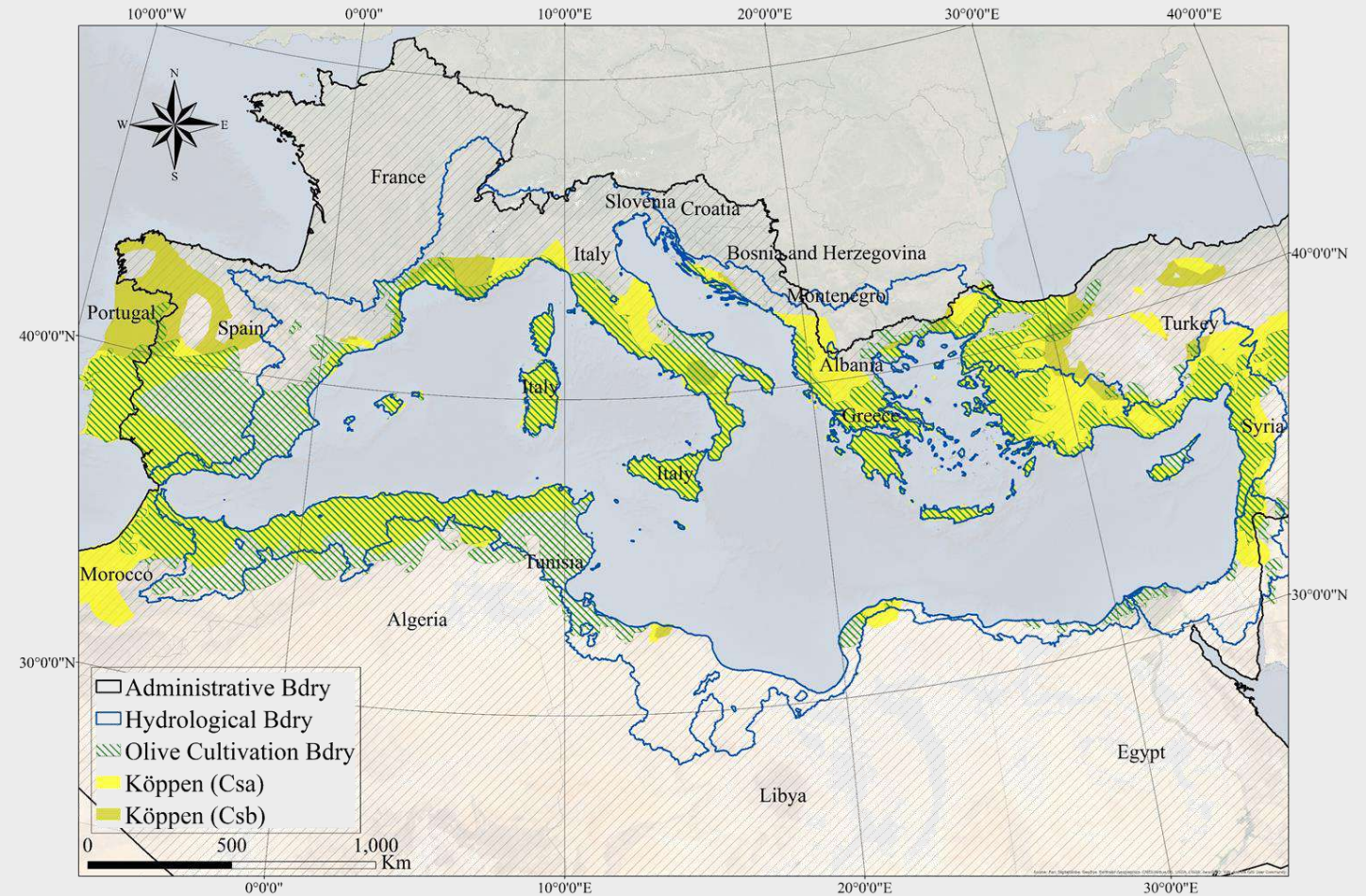
Espace : bassin moyen (100 à 3000 km²) ; Temps : saison, année, pluri-annuelle

- Quelle contribution du climat et du paysage en hydrologie ?
- Quelle répartition spatiale des ressources en eau ?
- Quels sont les bassins similaires, homogènes ?
- Quels impacts du changement climatique ?

I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

i. Frontières

- Administrative
- Climatique
- Agro-bioclimatique
- Hydrologique/ Topographique

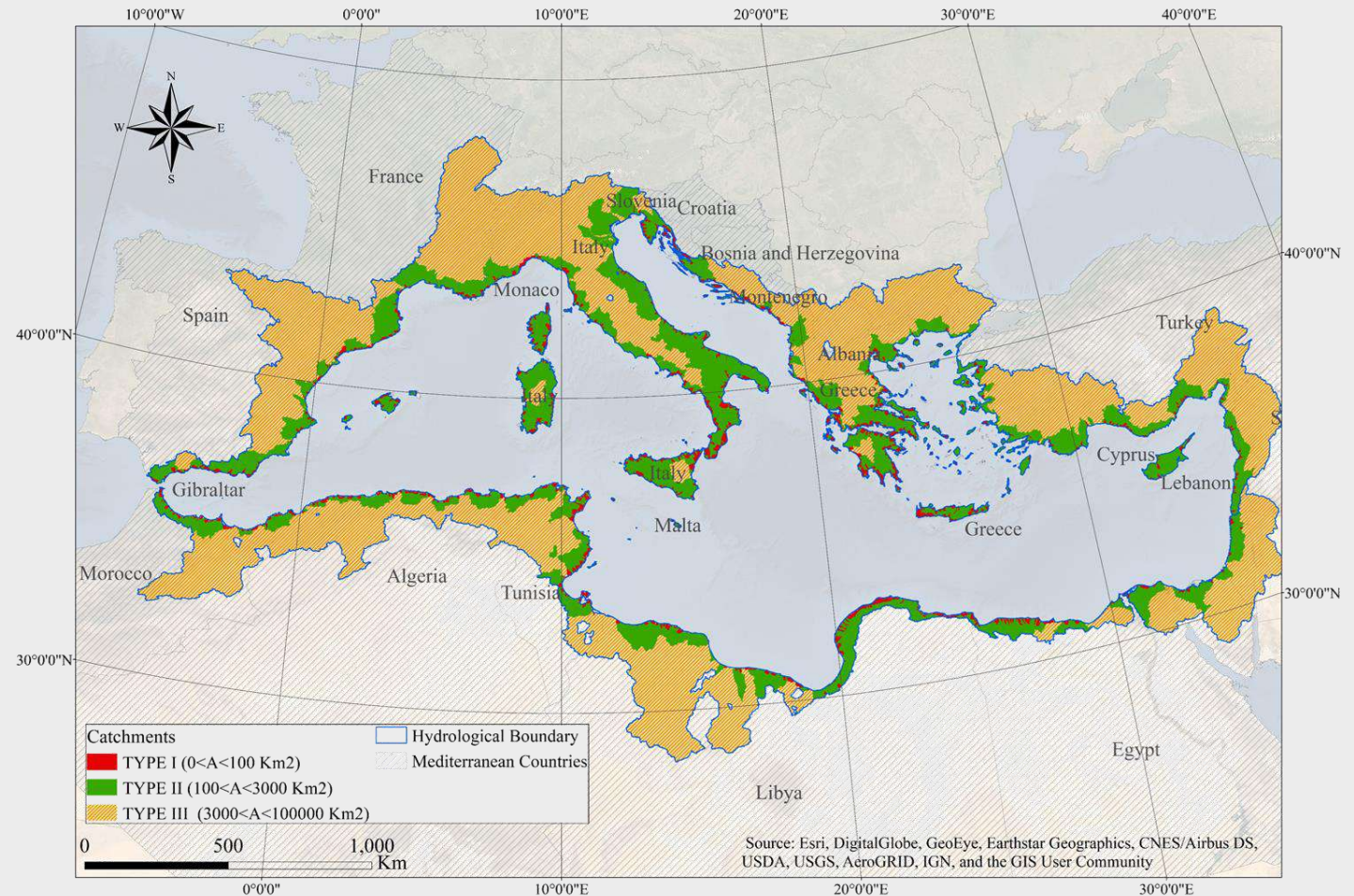


I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

i. Frontières

Bassins versants drainant vers la Méditerranée

Type	Nombre Bassins	Surface Totale (km ²)	Ratio Surface
I (A<100 km ²)	2333	80,157	4%
II (100<A<3000 km ²)	1270	498,614	28%
III (A>3000 km ²)	78	1,202,874	68%



I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

ii. Climat méditerranéen

Etablir une classification climatique fine à des fins hydrologiques basée sur des indices climatiques spécifiques à la Méditerranée

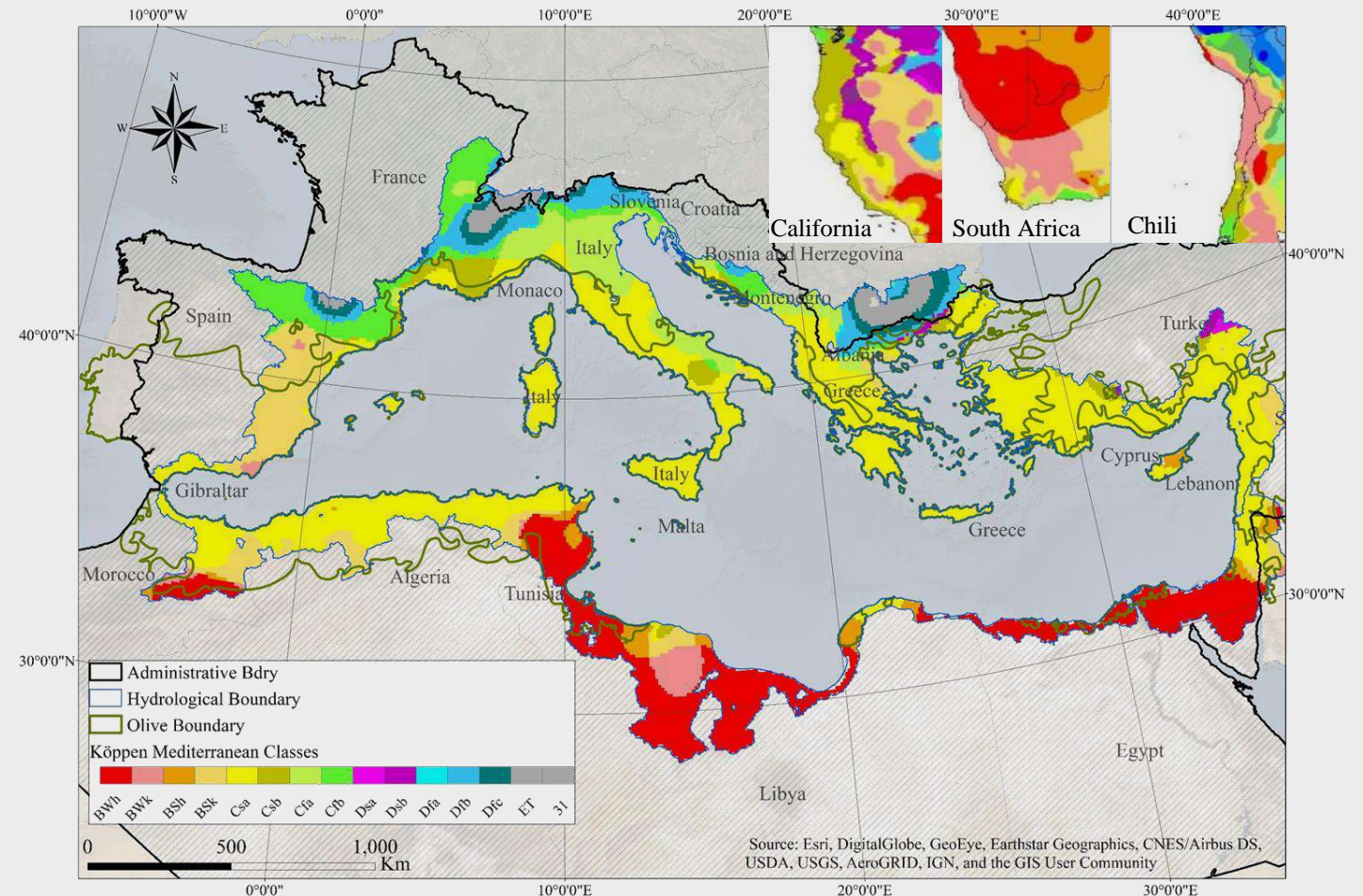
- Définitions et cartes des indices climatiques
 - Indice de saisonnalité I_s
 - Indice d'aridité I_{Arid}
- Classification K-moyennes en 5 classes climatiques
- Projection de la classification avec les modèles régionaux climatiques RCM ALADIN et CCLM simulées suivant les scénarios RCP 4.5 et 8.5 pour la période 2070-2100

I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

ii. Climat méditerranéen

- Köppen (1936)
(Csa) et (Csb)

- Saisonnalité
Écart du cumul des pluies entre la
saison pluvieuse et la saison sèche

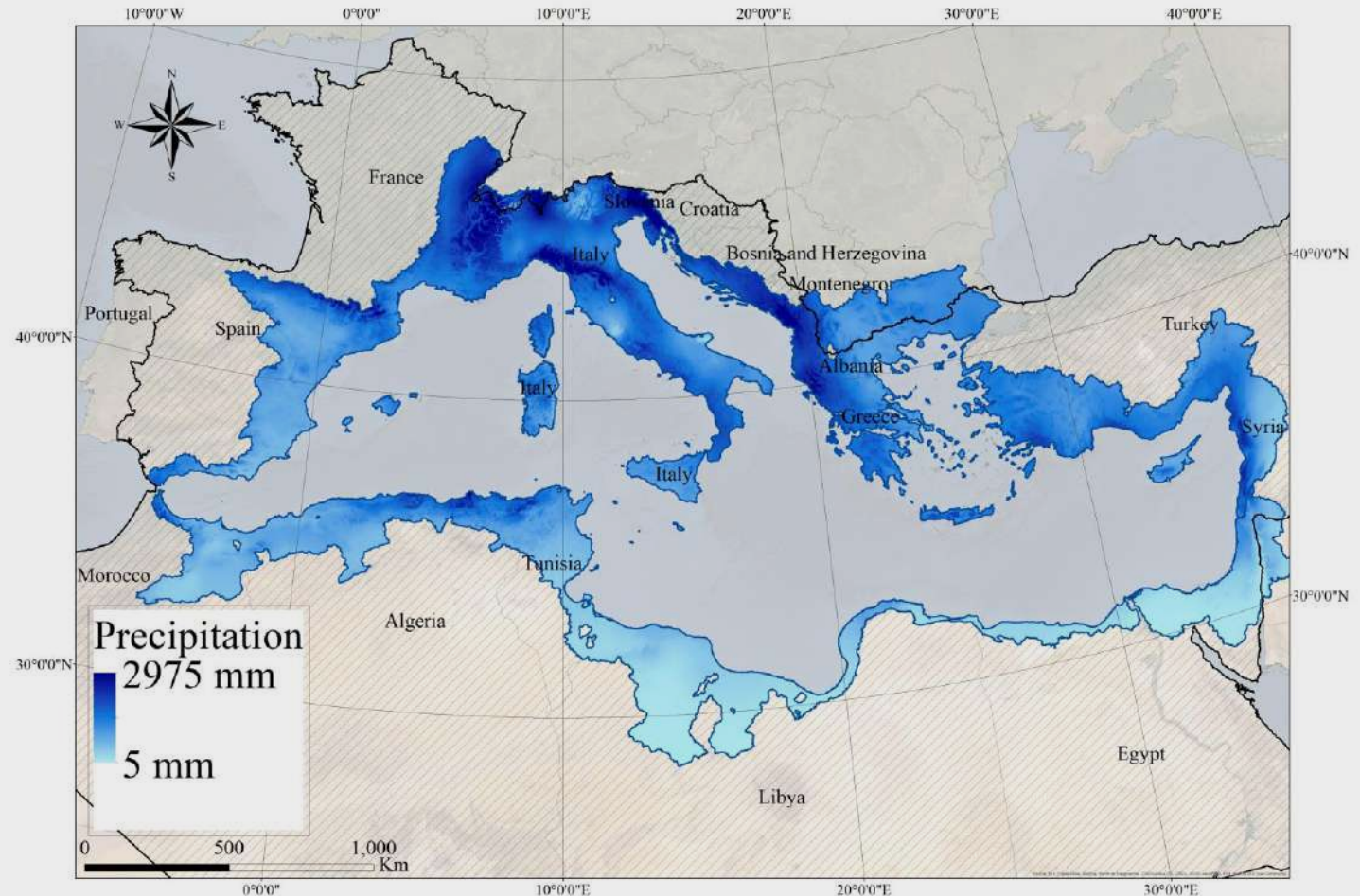


I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

ii. Climat méditerranéen

Données climatiques utilisées pour la classification et la projection

- a) WorldClim-2 à 1-km (1970-2000) pour la classification
- b) 180 stations de validation
 $\Delta T = 1$ mois, 20 ans
- a) 232 stations pour le calcul du bilan annuel
- b) Simulations des Modèles Régionaux Climatiques (RCM) ALADIN et CCLM

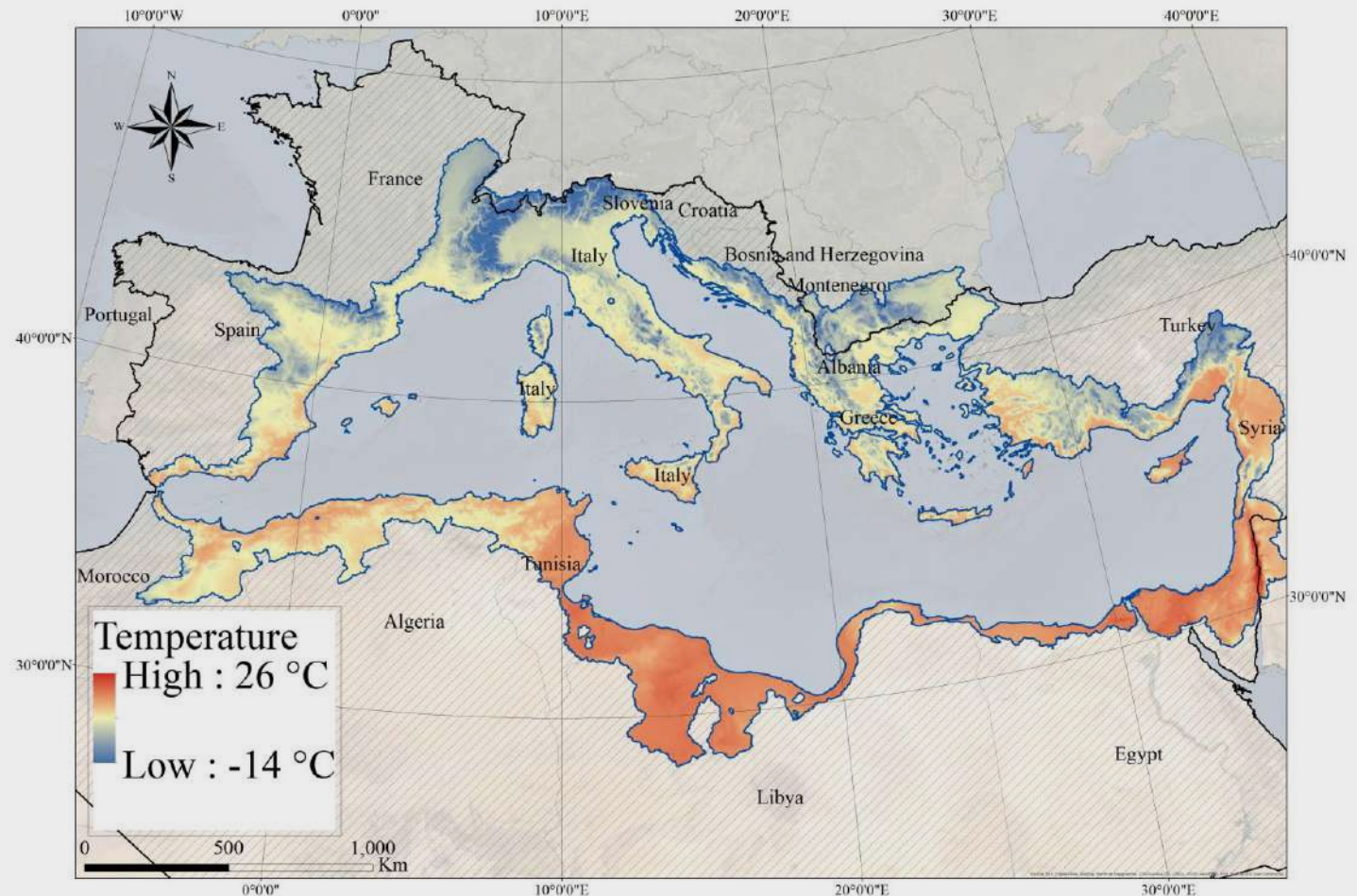


I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

ii. Climat méditerranéen

Données climatiques utilisées pour la classification et la projection

- a) WorldClim-2 à 1-km (1970-2000) pour la classification
- b) 180 stations de validation
 $\Delta T = 1$ mois, 20 ans
- a) 232 stations pour le calcul du bilan annuel
- b) Simulations des Modèles Régionaux Climatiques (RCM) ALADIN et CCLM

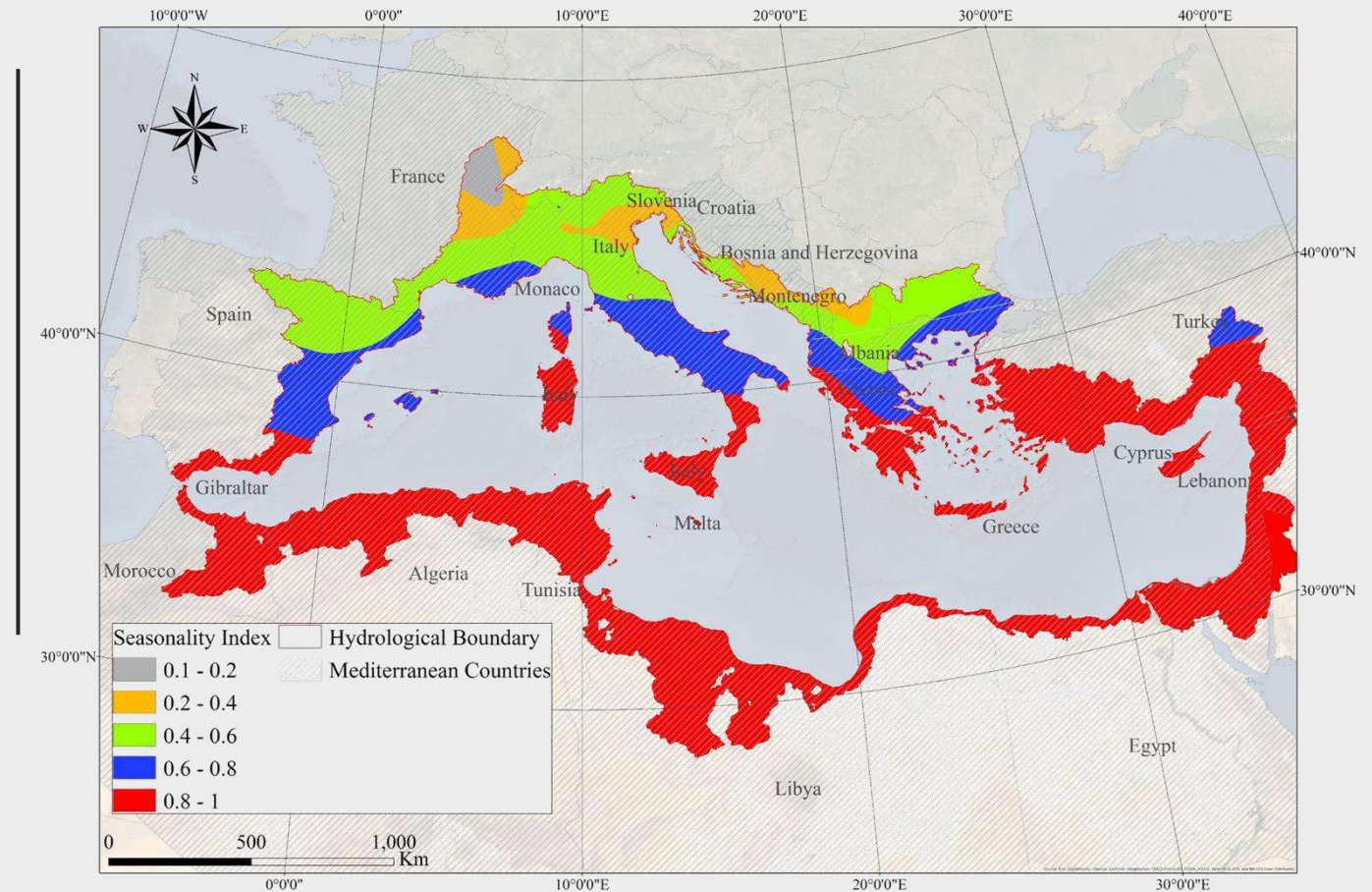
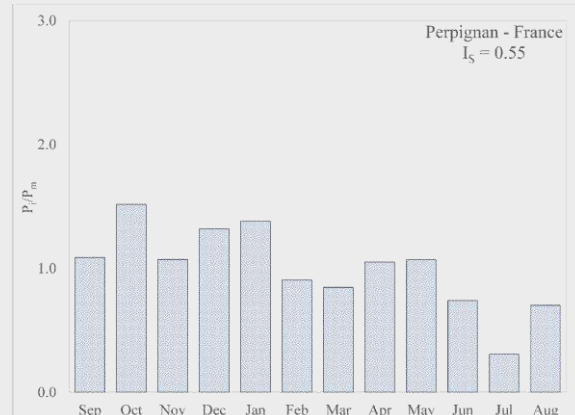
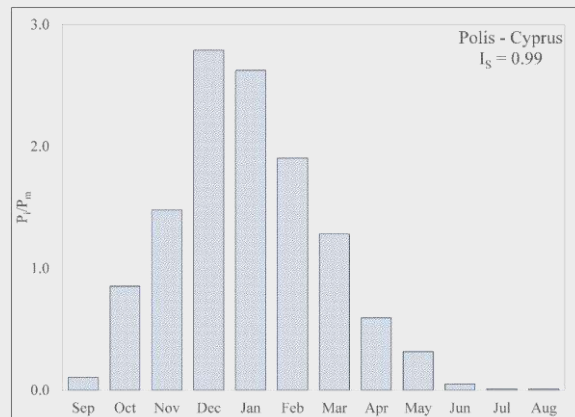


I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

ii. Climat méditerranéen

Indice de saisonnalité

$$I_s = 1 - \frac{\min C_i}{\max C_i} \text{ avec } C_i = \sum_{i=1}^{i+2} P_i$$



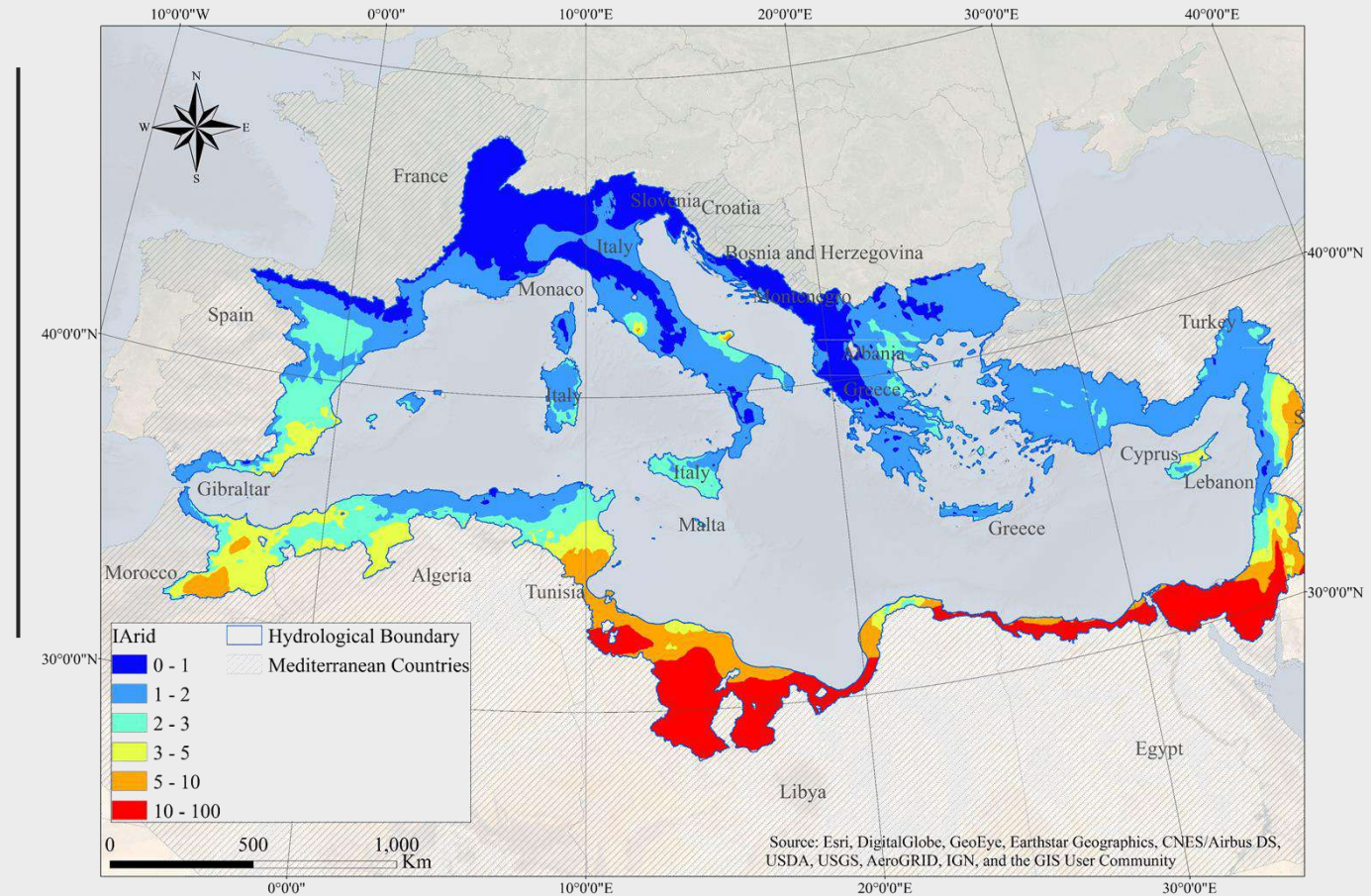
I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

ii. Climat méditerranéen

Indice d'aridité

$$I_{Arid} = E_p/P$$

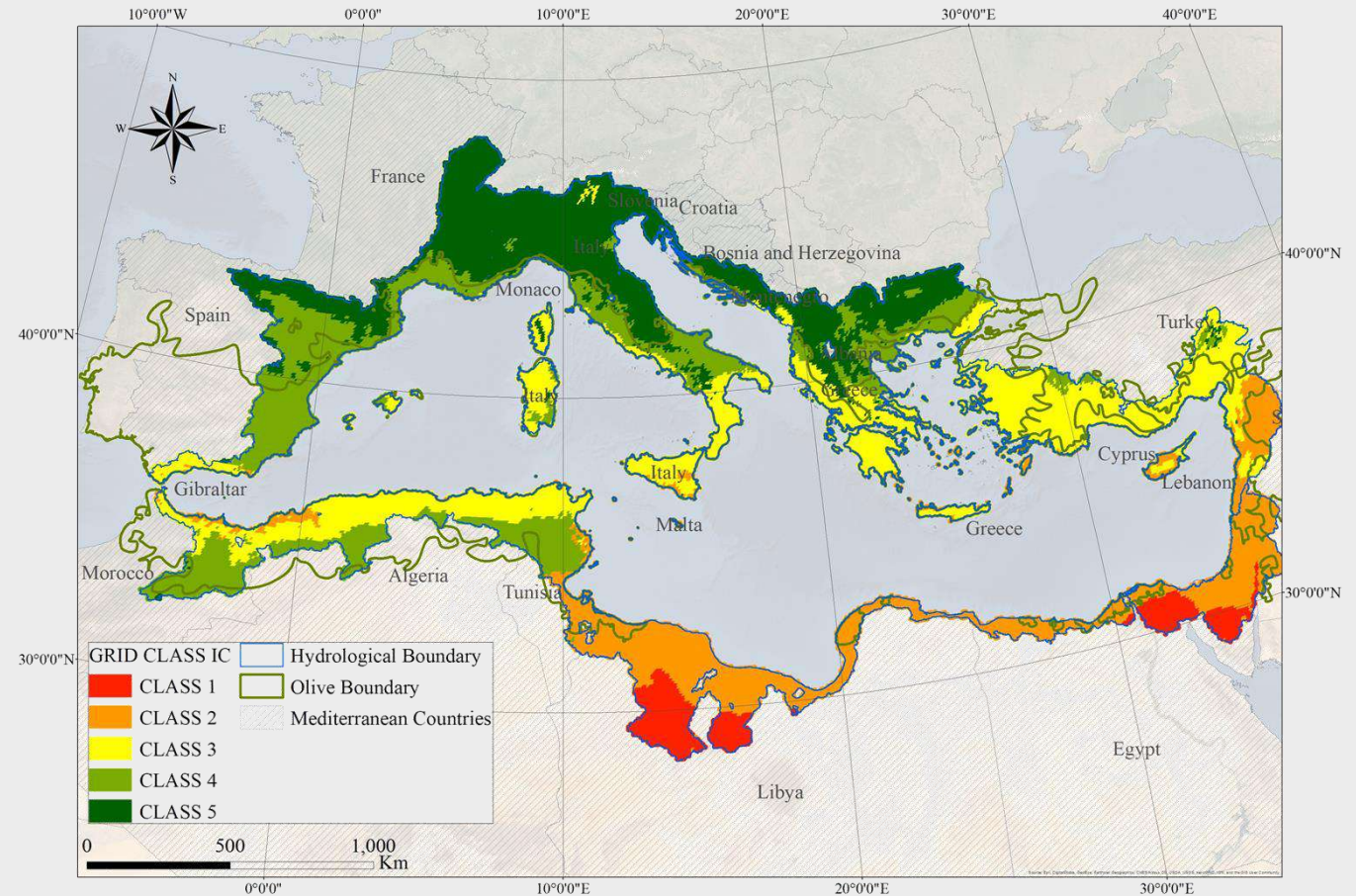
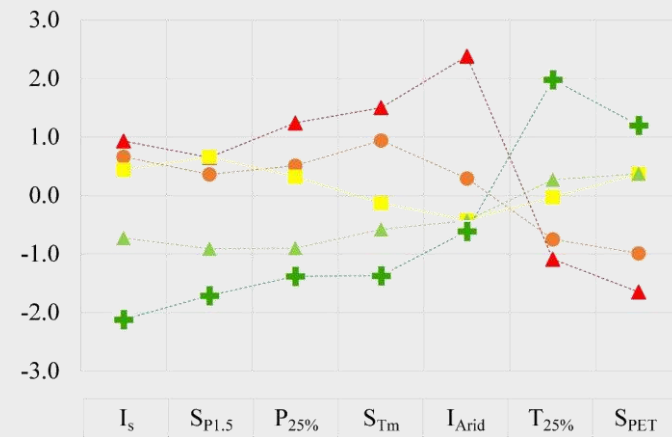
Distribution quasi-uniforme du Sud vers le Nord



I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

ii. Climat méditerranéen

Classe	Région	I_s	I_{Arid}
CC1	Egypte et Libye	0.99	39.8
CC2	Sud et Est Méditerranée	0.98	9.27
CC3	Région centrale	0.87	1.73
CC4	Région côtière Nord-ouest, Sud-Est Italie, Grèce	0.62	2.65
CC5	Région Nord interne	0.42	0.91



I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

ii. Climat méditerranéen

- La classification climatique coïncide avec une distribution géographique continue.
- Evolution de la région méditerranéenne vers le climat aride, suivant les scénarios RCP 4.5 et 8.5 des RCM ALADIN et CCLM.
- Evolution des classes situées au Nord vers des classes côtières modérées donc des saisons humides plus courtes et des fontes précoces des neiges.
- La classification peut être reproduite à l'échelle mondiale.

I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

iii. Paysage méditerranéen

Mettre en évidence la diversité des bassins méditerranéens

- ACP, réduction du nombre d'indices les plus contributaires
- Classification K-moyennes en 10 classes physiographiques
- Analyse de l'interaction physioclimatique

I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

iii. Paysage méditerranéen

- Relief
(Montagne, collines, plaine)
- Couverture du sol
(Terrain agricole, urbain, forêts, ...)
- Type et caractéristiques du sol
(capacité de rétention, sol rouge, rocheux, ...)
- Géologie
(Karst, ...)

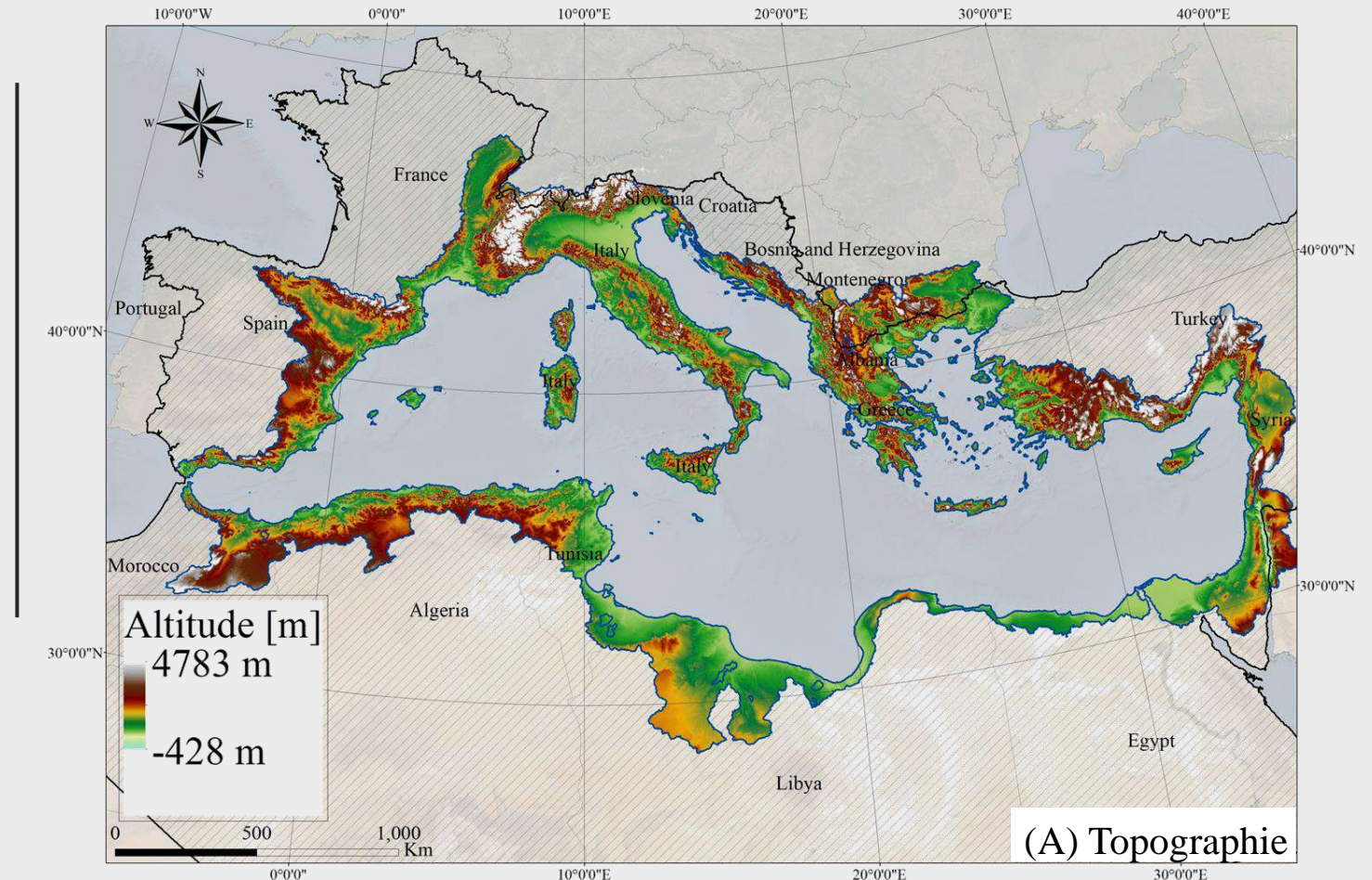


I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

iii. Paysage méditerranéen

Données physiographiques

- a) Topographie (SRTM)
(Jarvis et al., 2008)
- b) Géologie (IGME)
(Asch & Bellenberg, 2005)
- c) Occupation sol (GLC)
(Bartholome et al., 2002)
- d) Lithologie (GLiM)
(Hartmann & Moosdorf, 2012)
- e) Sol (HWSD & ESDAC)
(FAO & ISRIC, 2012)
- f) Karst (WOKAM)
(Chen et al., 2017)
- g) Neige (MODIS/Terra Snow)
(Hall & Riggs, 2016)

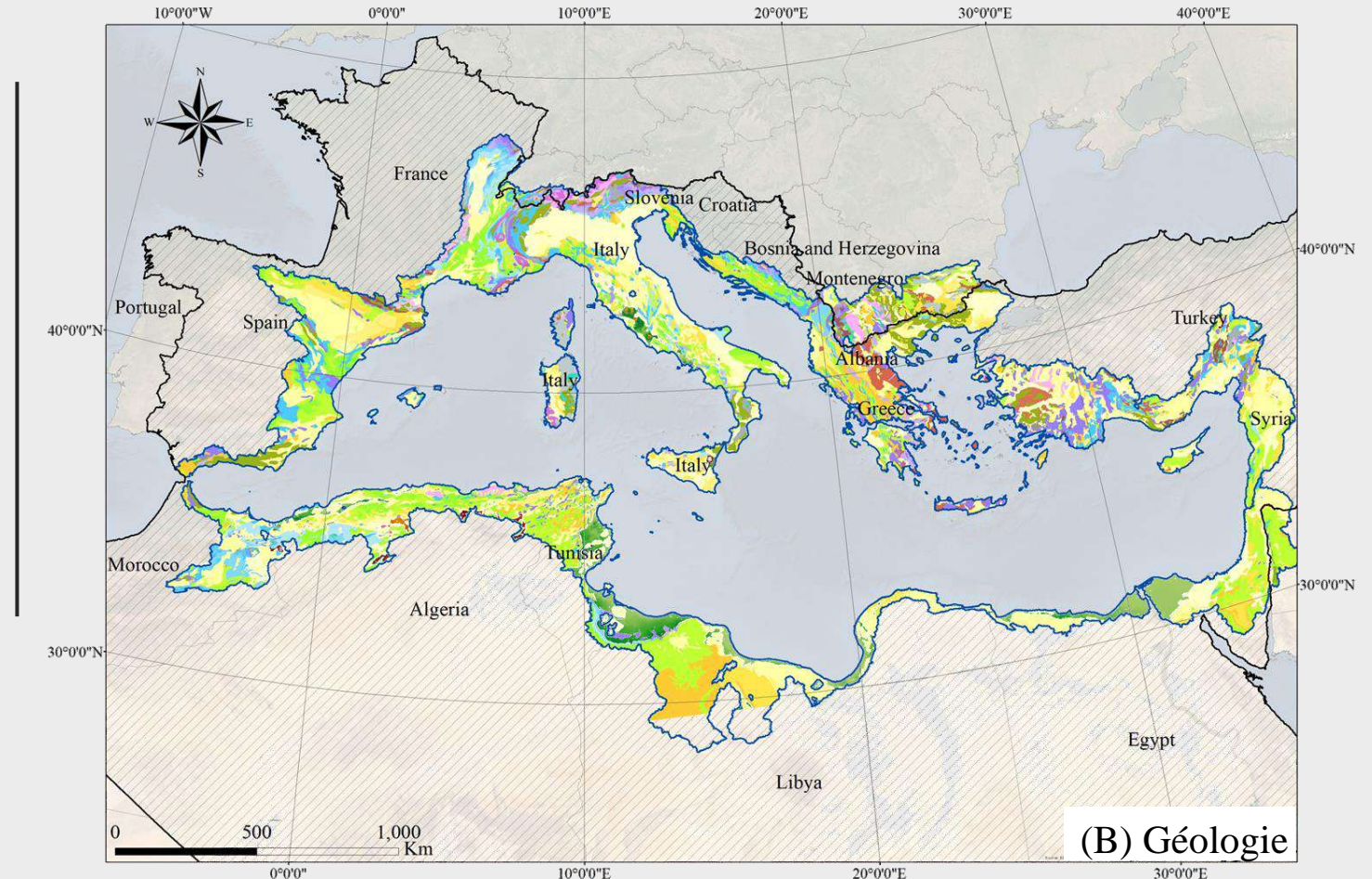


I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

iii. Paysage méditerranéen

Données physiographiques

- a) Topographie (SRTM)
(Jarvis et al., 2008)
- b) Géologie (IGME)
(Asch & Bellenberg, 2005)
- c) Occupation sol (GLC)
(Bartholome et al., 2002)
- d) Lithologie (GLiM)
(Hartmann & Moosdorf, 2012)
- e) Sol (HWSD & ESDAC)
(FAO & ISRIC, 2012)
- f) Karst (WOKAM)
(Chen et al., 2017)
- g) Neige (MODIS/Terra Snow)
(Hall & Riggs, 2016)

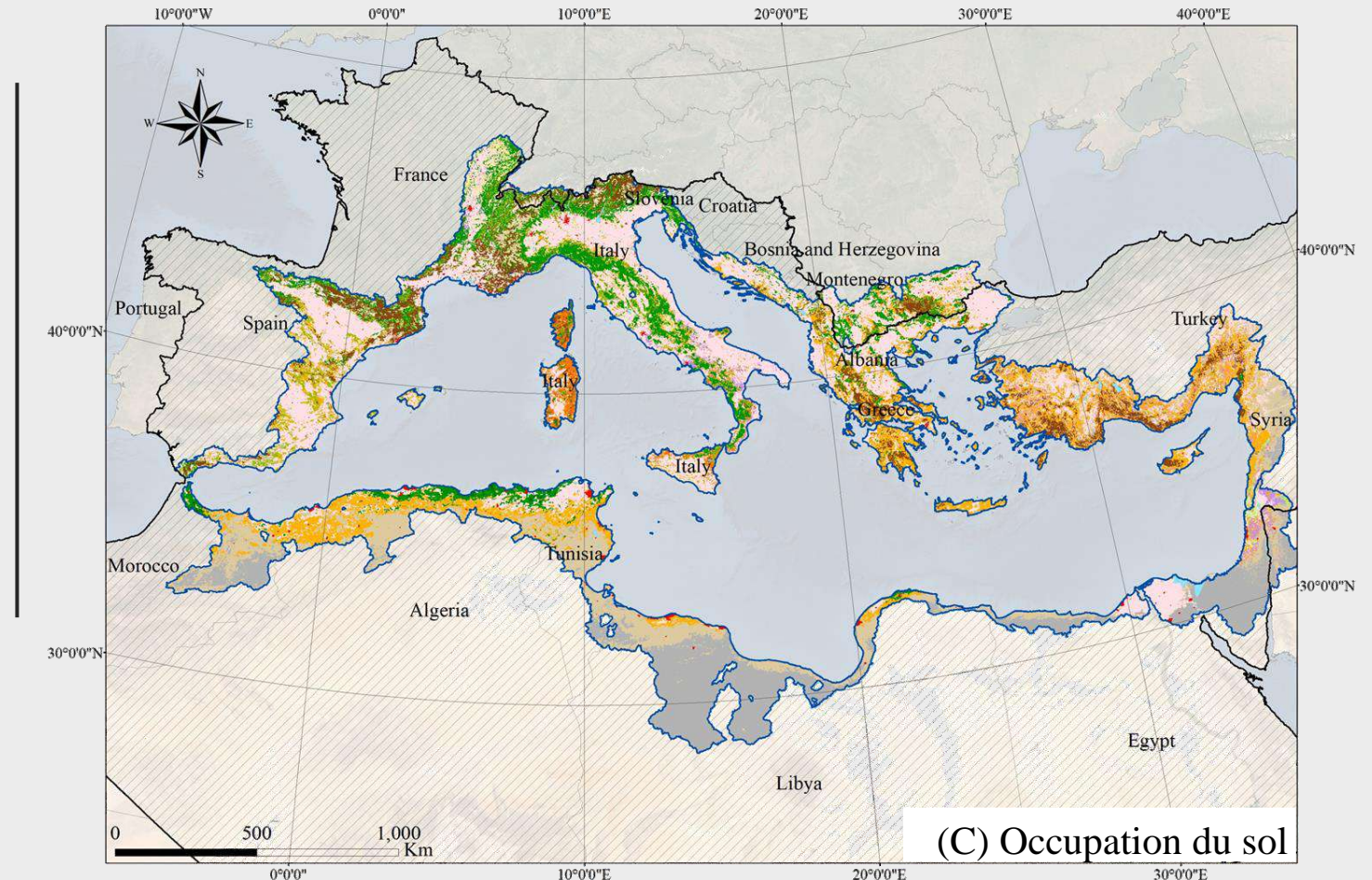


I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

iii. Paysage méditerranéen

Données physiographiques

- a) Topographie (SRTM)
(Jarvis et al., 2008)
- b) Géologie (IGME)
(Asch & Bellenberg, 2005)
- c) Occupation sol (GLC)
(Bartholome et al., 2002)
- d) Lithologie (GLiM)
(Hartmann & Moosdorf, 2012)
- e) Sol (HWSD & ESDAC)
(FAO & ISRIC, 2012)
- f) Karst (WOKAM)
(Chen et al., 2017)
- g) Neige (MODIS/Terra Snow)
(Hall & Riggs, 2016)

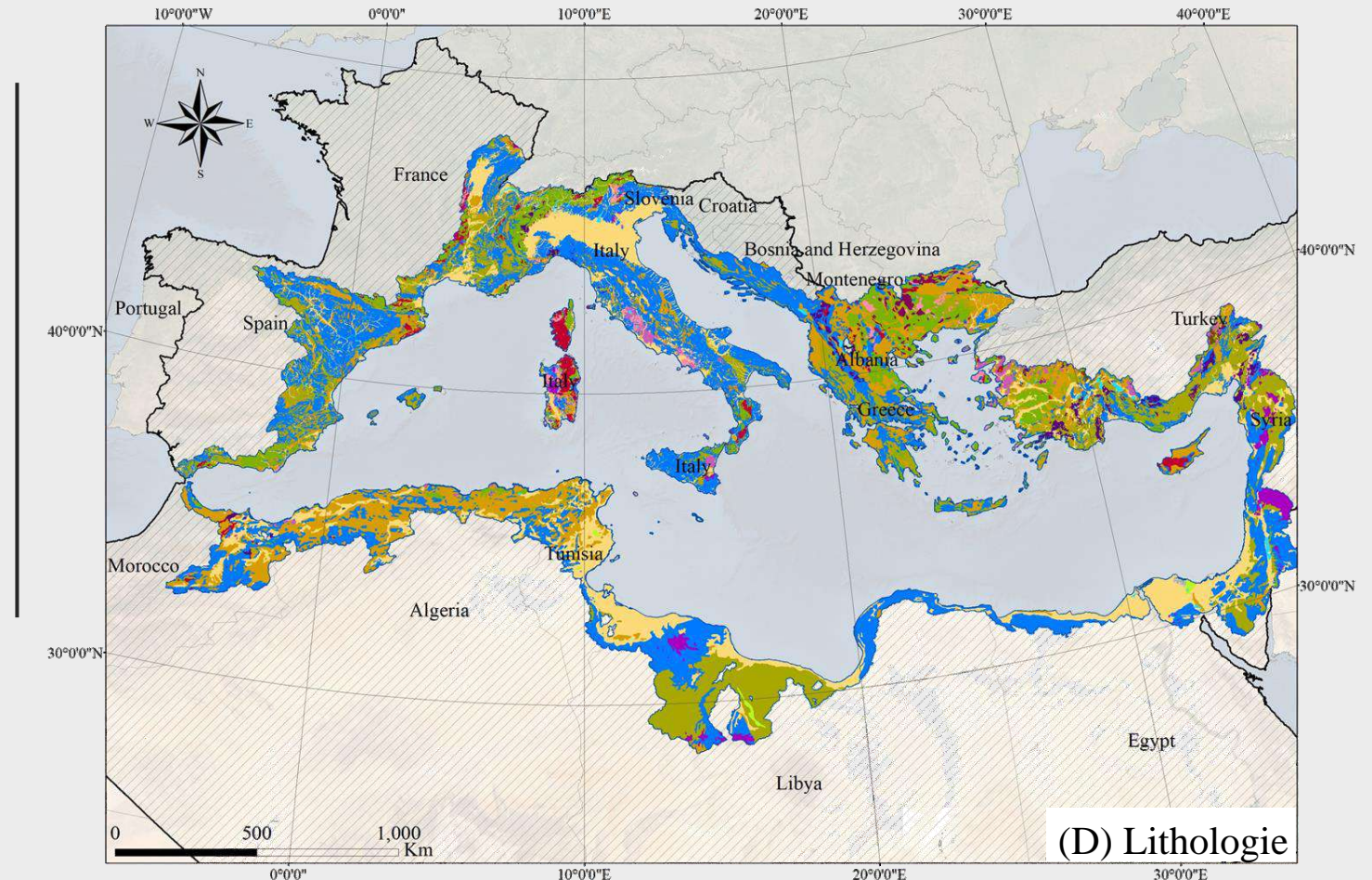


I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

iii. Paysage méditerranéen

Données physiographiques

- a) Topographie (SRTM)
(Jarvis et al., 2008)
- b) Géologie (IGME)
(Asch & Bellenberg, 2005)
- c) Occupation sol (GLC)
(Bartholome et al., 2002)
- d) Lithologie (GLiM)
(Hartmann & Moosdorf, 2012)
- e) Sol (HWSD & ESDAC)
(FAO & ISRIC, 2012)
- f) Karst (WOKAM)
(Chen et al., 2017)
- g) Neige (MODIS/Terra Snow)
(Hall & Riggs, 2016)

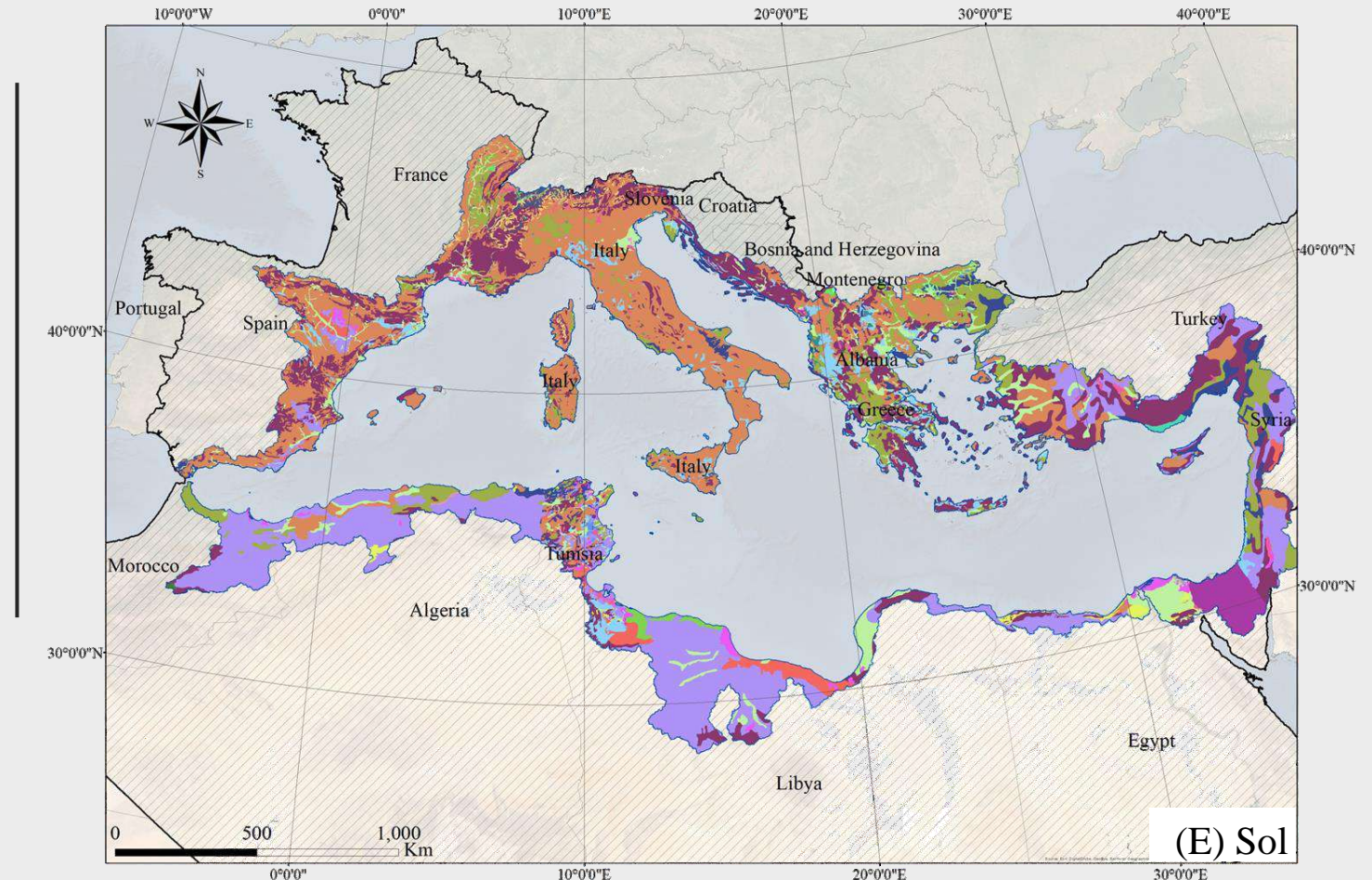


I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

iii. Paysage méditerranéen

Données physiographiques

- a) Topographie (SRTM)
(Jarvis et al., 2008)
- b) Géologie (IGME)
(Asch & Bellenberg, 2005)
- c) Occupation sol (GLC)
(Bartholome et al., 2002)
- d) Lithologie (GLiM)
(Hartmann & Moosdorf, 2012)
- e) Sol (HWSD & ESDAC)
(FAO & ISRIC, 2012)
- f) Karst (WOKAM)
(Chen et al., 2017)
- g) Neige (MODIS/Terra Snow)
(Hall & Riggs, 2016)

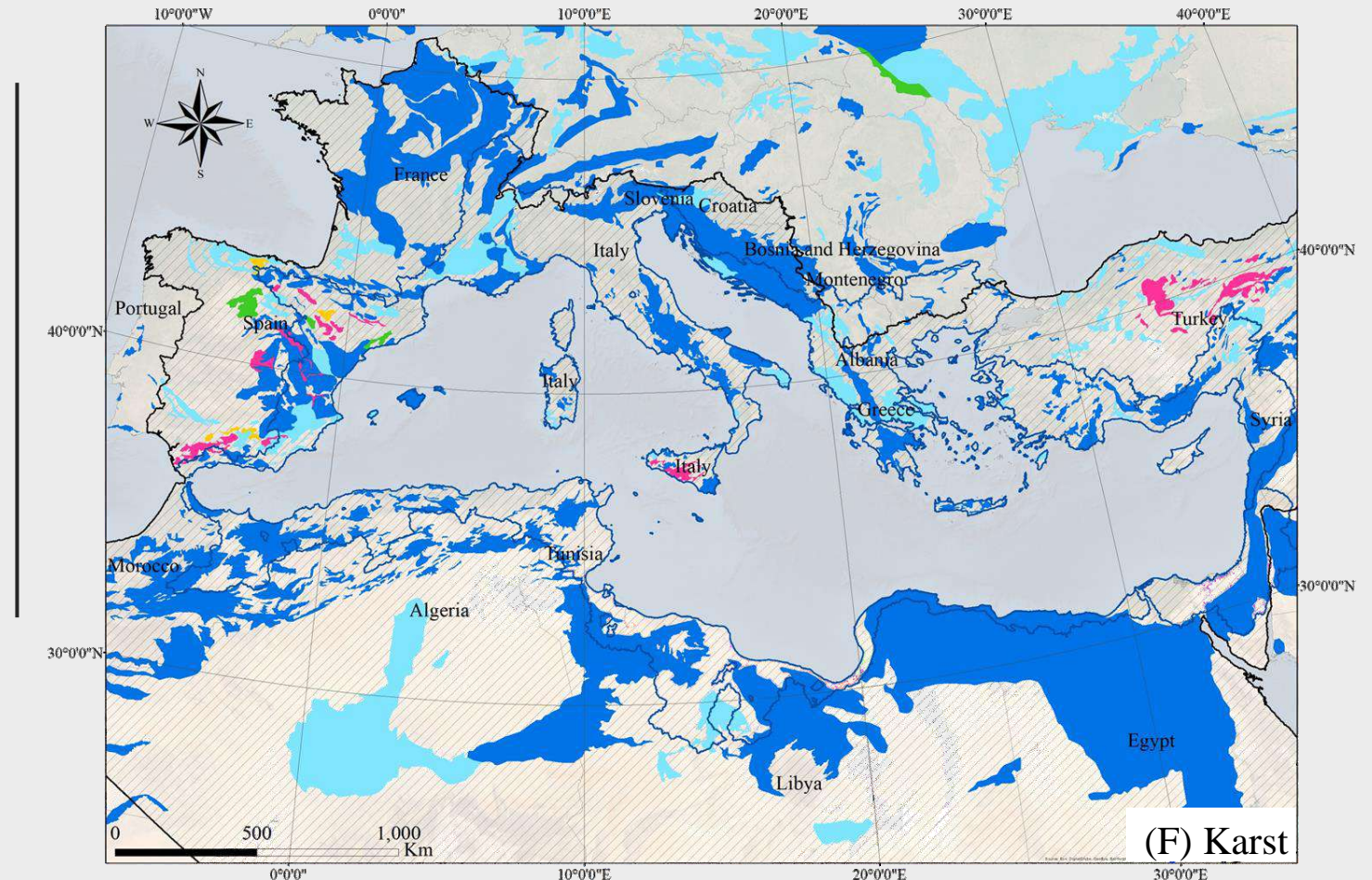


I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

iii. Paysage méditerranéen

Données physiographiques

- a) Topographie (SRTM)
(Jarvis et al., 2008)
- b) Géologie (IGME)
(Asch & Bellenberg, 2005)
- c) Occupation sol (GLC)
(Bartholome et al., 2002)
- d) Lithologie (GLiM)
(Hartmann & Moosdorf, 2012)
- e) Sol (HWSD & ESDAC)
(FAO & ISRIC, 2012)
- f) Karst (WOKAM)
(Chen et al., 2017)
- g) Neige (MODIS/Terra Snow)
(Hall & Riggs, 2016)

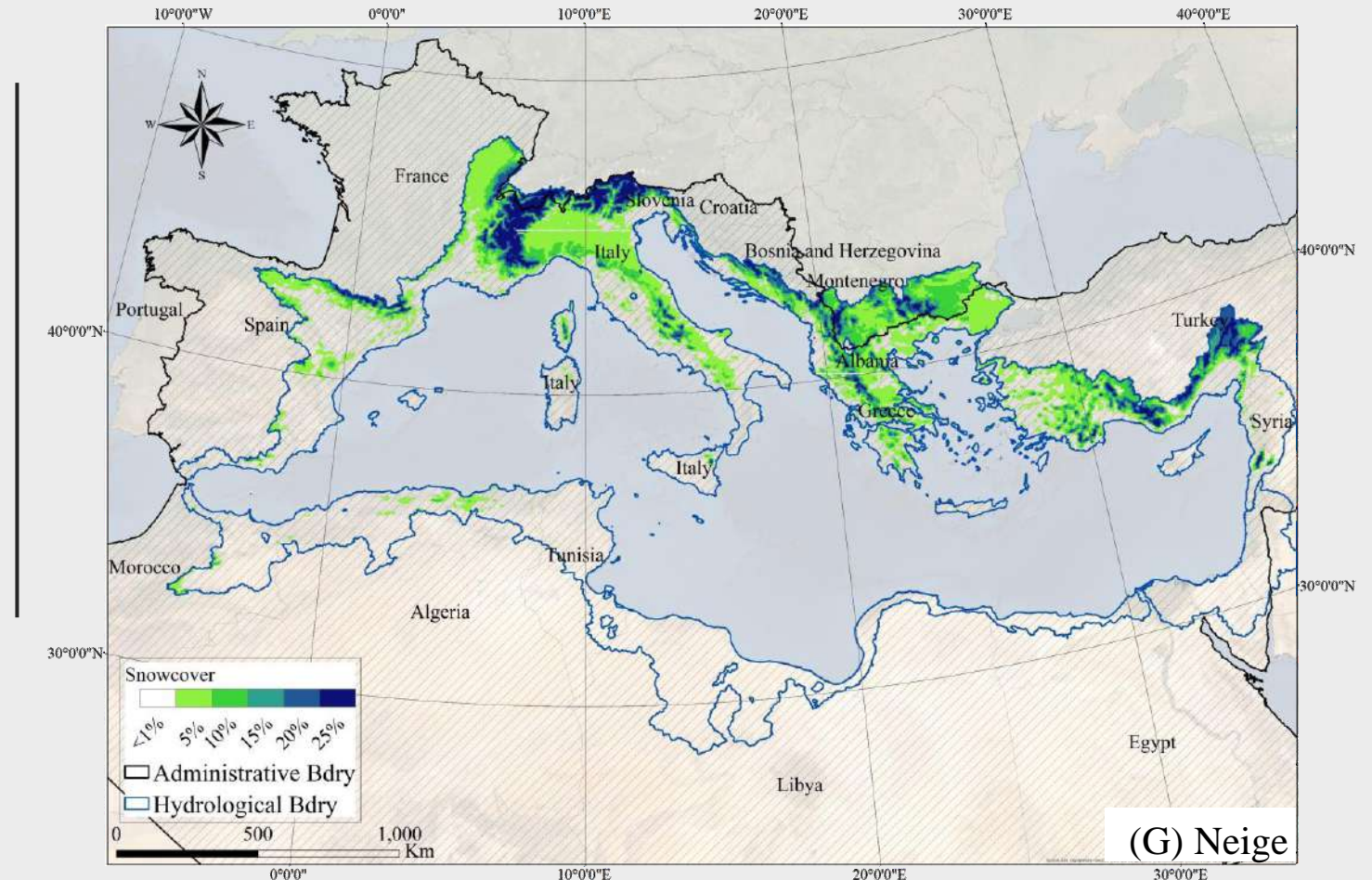


I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

iii. Paysage méditerranéen

Données physiographiques

- a) Topographie (SRTM)
(Jarvis et al., 2008)
- b) Géologie (IGME)
(Asch & Bellenberg, 2005)
- c) Occupation sol (GLC)
(Bartholome et al., 2002)
- d) Lithologie (GLiM)
(Hartmann & Moosdorf, 2012)
- e) Sol (HWSD & ESDAC)
(FAO & ISRIC, 2012)
- f) Karst (WOKAM)
(Chen et al., 2017)
- g) Neige (MODIS/Terra Snow)
(Hall & Riggs, 2016)



I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

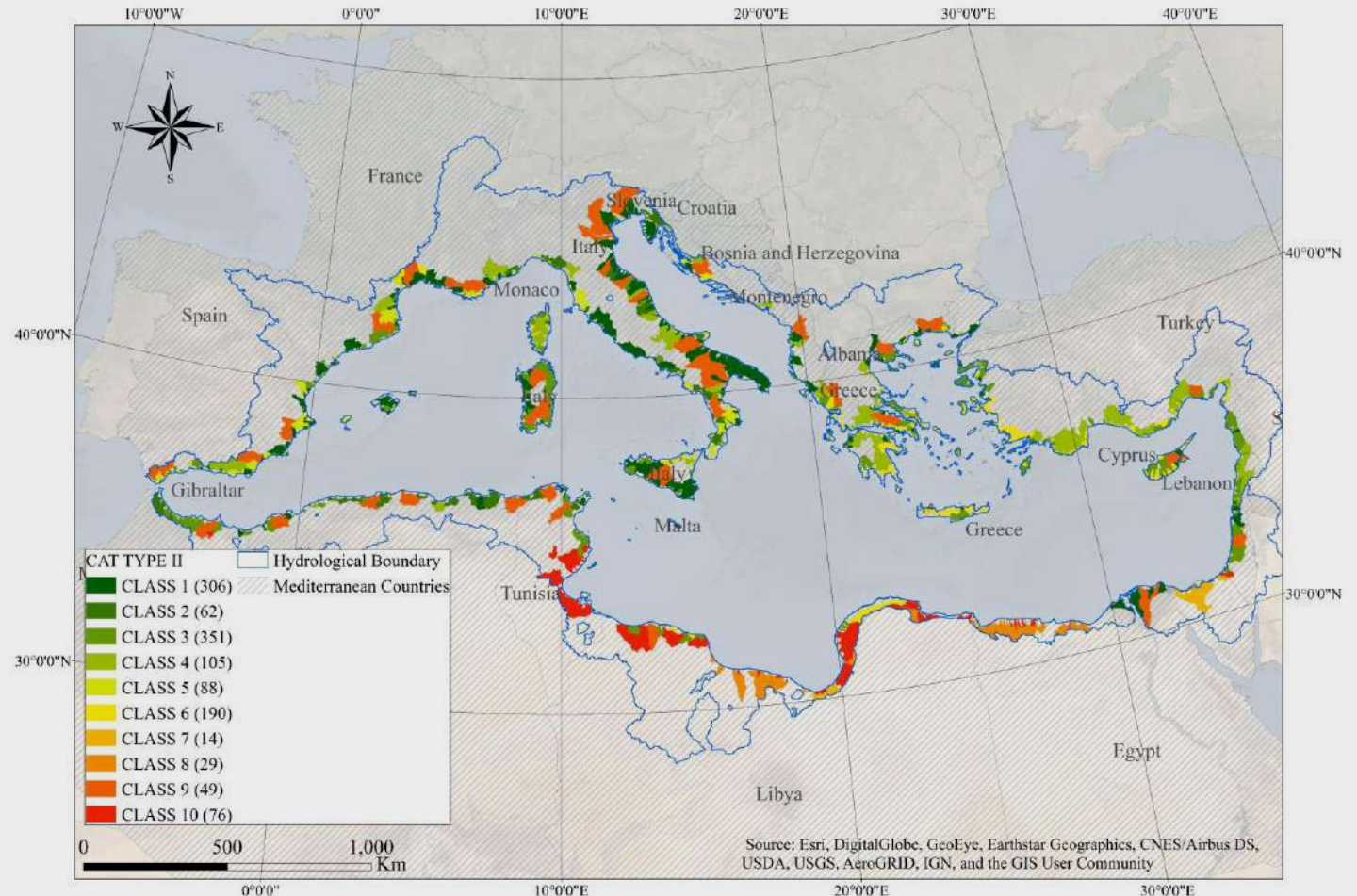
iii. Paysage méditerranéen

CLASSE	No	REGION	DESCRIPTION	A (km ²)	Z _{Mean} (m)	ZS _{Mean} (m)	P _{KARST} (%)	T _{AWC} (mm)	LpSols (%)	TC_MLT(%)	BA (%)	CMA (%)	SC_COD (%)	SHC (%)	TC_BCD (%)
PC1	306 (10)	Nord Est	Petits, Cultivés et Aménagés à 70%	286	184	-	40%	50.8	11%	2%	1%	71%	7%	1%	2%
PC2	62 (3)	Sud-Ouest, Italie	Arbres feuillus, couverts à 60%	415	497	224	36%	51.3	12%	6%	0%	10%	7%	0%	60%
PC3	351 (10)	Méditerranée	Sans influence spécifique dominante	221	289	-	30%	49.6	13%	1%	1%	12%	34%	3%	2%
PC4	105 (11)	Nord et Est	Montagneux karstiques et influencés par la neige	662	871	1462	53%	38.6	51%	3%	1%	16%	30%	4%	8%
PC5	88 (9)	Nord-Ouest	Forestiers à feuilles mixtes couverts à 26 %	266	398	-	29%	50.8	17%	26%	0%	19%	8%	2%	12%
PC6	190 (4)	Est et Libye	Arbustes, couvert à 52 %, faible T_AWC et Leptosols à 79%	181	341	-	42%	27.4	79%	1%	0%	13%	52%	1%	1%
PC7	14 (0)	Sinaï	Désert	730	107	-	3%	0.8	0%	0%	87%	0%	0%	8%	0%
PC8	29 (0)	Egypte, Libye	Désert	838	124	-	80%	51.6	16%	0%	70%	0%	0%	25%	0%
PC9	49 (8)	Méditerranée	Larges cultivés et aménagés à 50% influencés par la neige.	2146	411	428	35%	50.3	26%	4%	0%	49%	11%	4%	12%
PC10	76 (0)	Egypte, Libye Tunisie	Semi-désertique, herbacés ou à arbustes, couverts à 87%	537	133	-	44%	49.5	19%	0%	5%	1%	3%	87%	0%

I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

iii. Paysage méditerranéen

CLASSE	REGION	DESCRIPTION
PC1	Nord Est	Petits, Cultivés et Aménagés à 70%
PC2	Sud-Ouest, Italie	Arbres feuillus, couverts à 60%
PC3	Méditerranée	Sans influence spécifique dominante
PC4	Nord et Est	Montagneux karstiques et influencés par la neige
PC5	Nord-Ouest	Forestiers à feuilles mixtes couverts à 26 %
PC6	Est et Libye	Arbustes, couvert à 52 %, faible T_AWC et Leptosols à 79%
PC7	Sinaï	Désert
PC8	Egypte, Libye	Désert
PC9	Méditerranée	Larges cultivés et aménagés à 50% influencés par la neige.
PC10	Egypte, Libye Tunisie	Semi-désertique, herbacés ou à arbustes, couverts à 87%

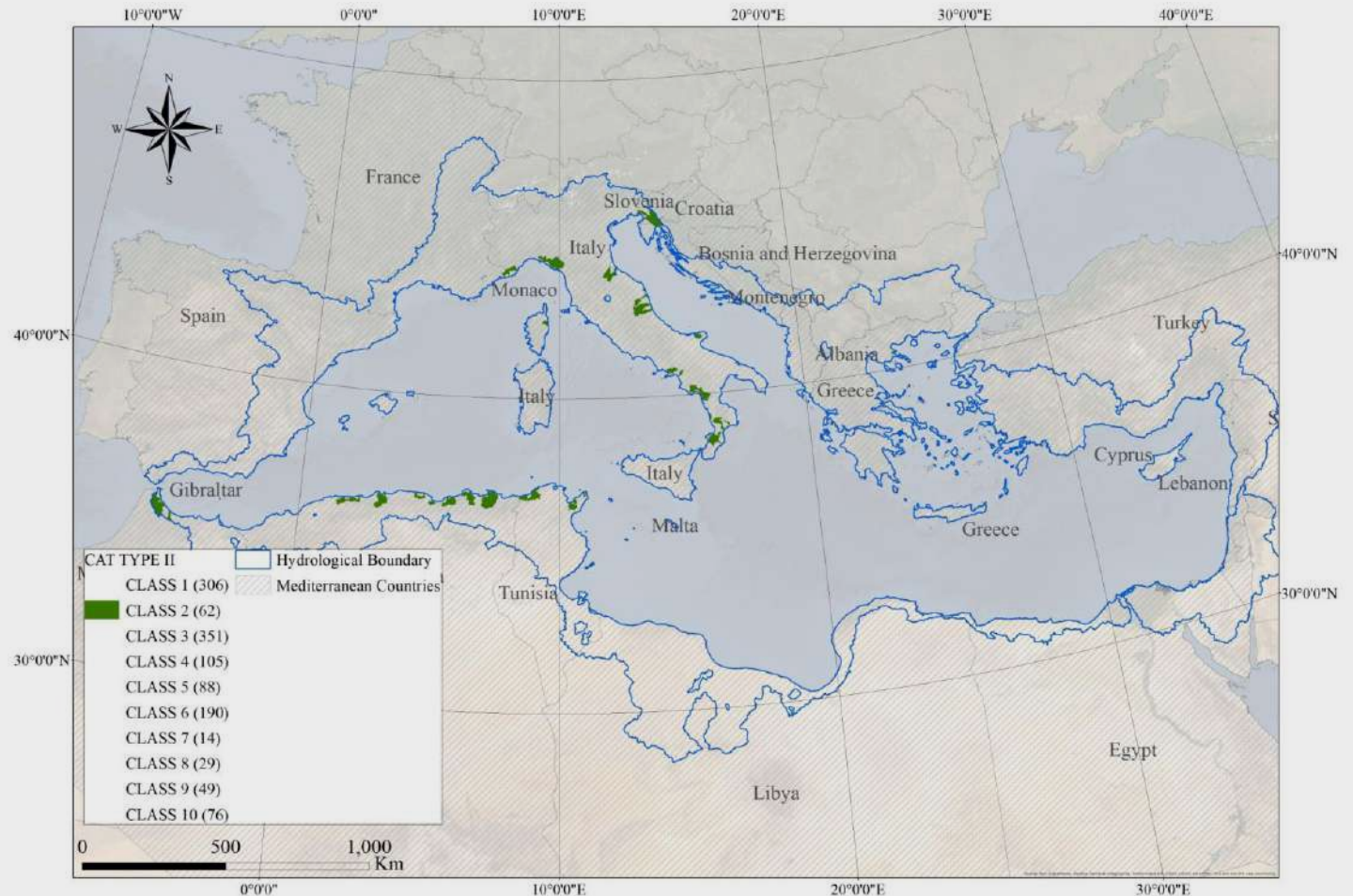


I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

iii. Paysage méditerranéen

Classe 2: Bassins forestiers à arbres feuillus

Présence dominante au Sud-Ouest et l'Italie

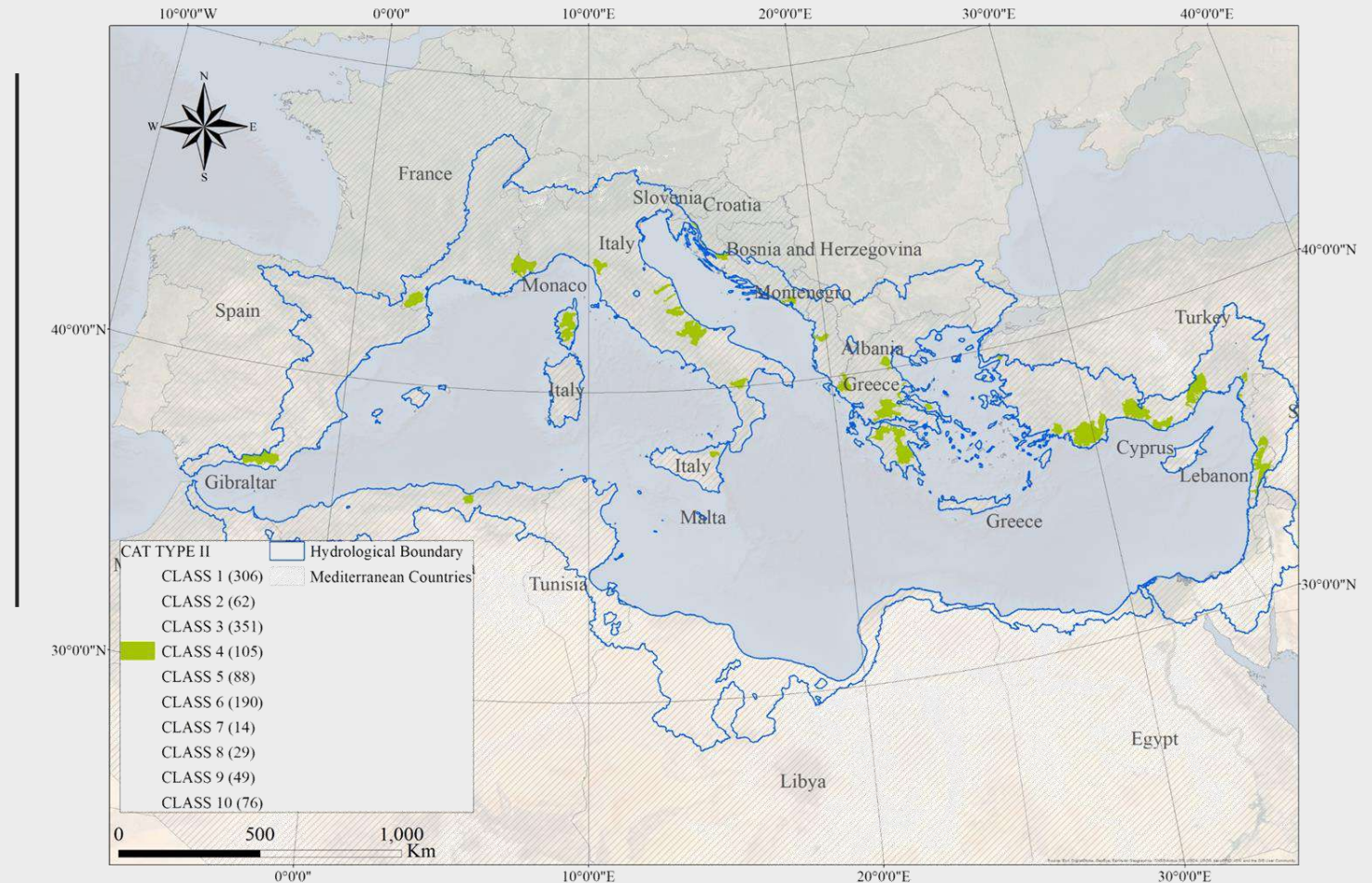


I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

iii. Paysage méditerranéen

Classe 4: Bassins montagneux karstiques à influence neigeuse

Présence dominante au Nord et au Mont Liban

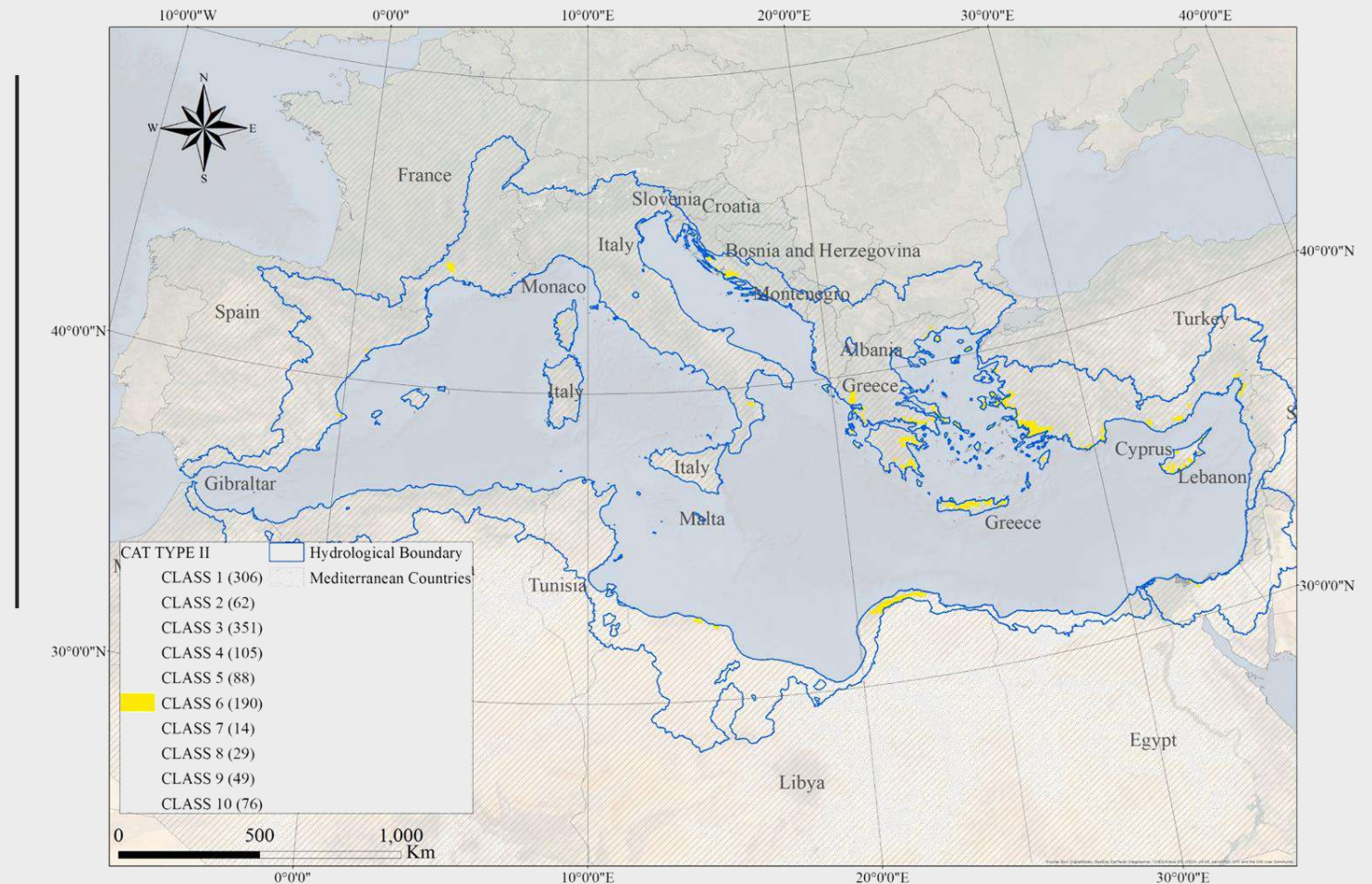


I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

iii. Paysage méditerranéen

Classe 6: Bassins à arbustes et leptosols élevé, T_{AWC} faible

Présence dominante à l'Est et Jabal Akhdar Libye



I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

iii. Paysage méditerranéen

- Classification en 10 classes physiographiques par ACP et K-moyennes de 1270 bassins Méditerranéens.
- Identification d'un regroupement physiographique régional.
- Analyse physio-climatique :
 - Le relief cause de la variabilité microclimatique cachée par l'homogénéité macro-climatique.
 - Couverture du sol résultat de la variabilité microclimatique (PC6).
- Potentiel d'étendre les surfaces cultivées et aménagées en fonction des ressources disponibles (PC3).

I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

iv. Régimes hydrologiques

Classification de Haines (1988)

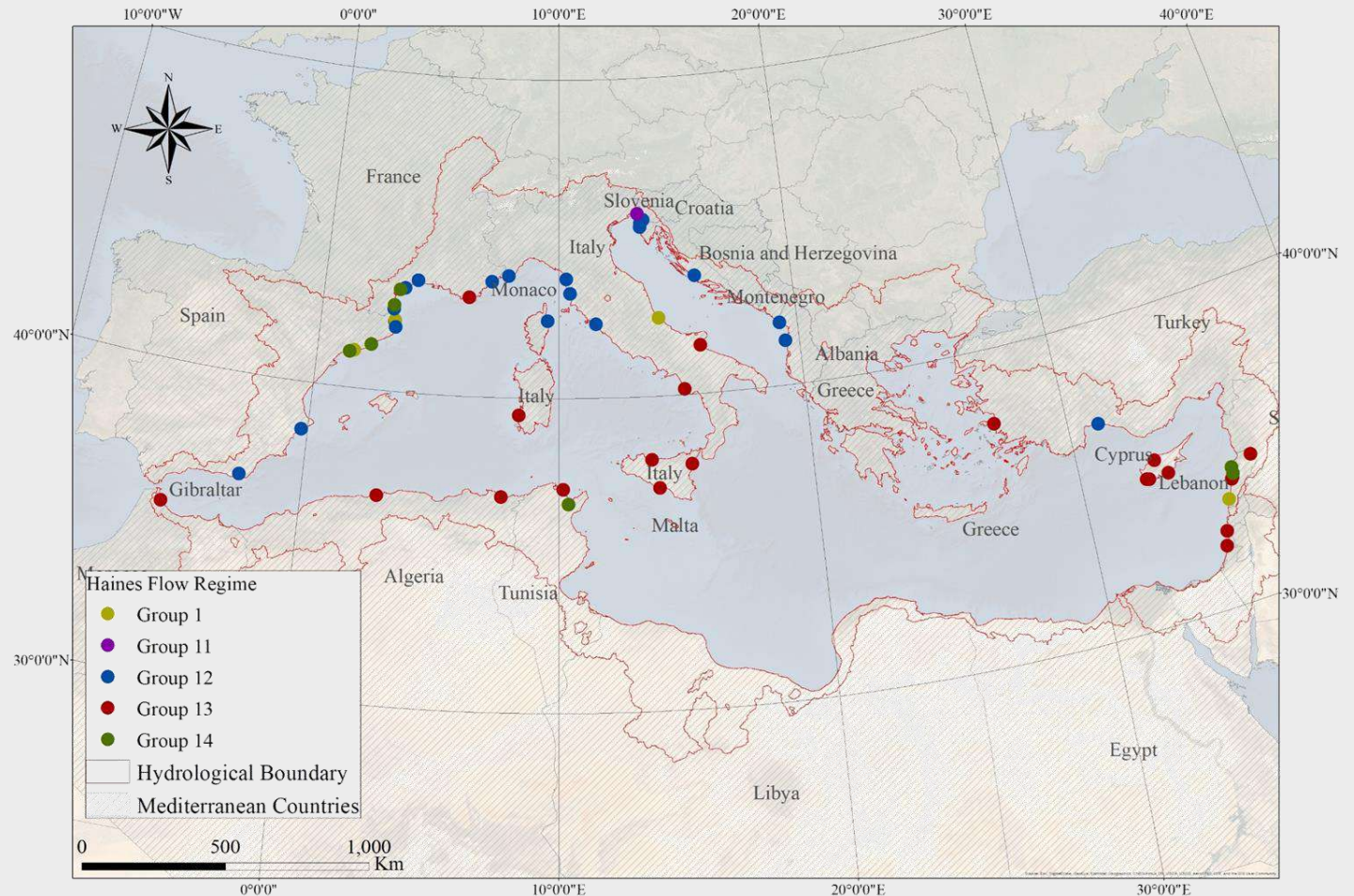
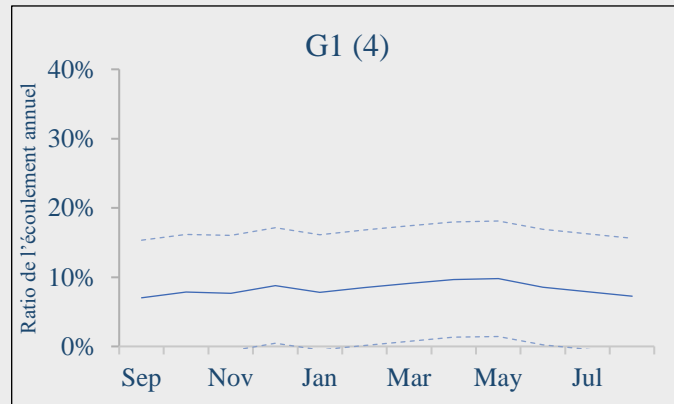
Group 1 : Uniforme

Groupe 11: Automne modéré

Groupe 12: Hiver modéré (Nord)

Groupe 13: Hiver extrême (Sud)

Groupe 14: Début printemps



I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

iv. Régimes hydrologiques

Classification de Haines (1988)

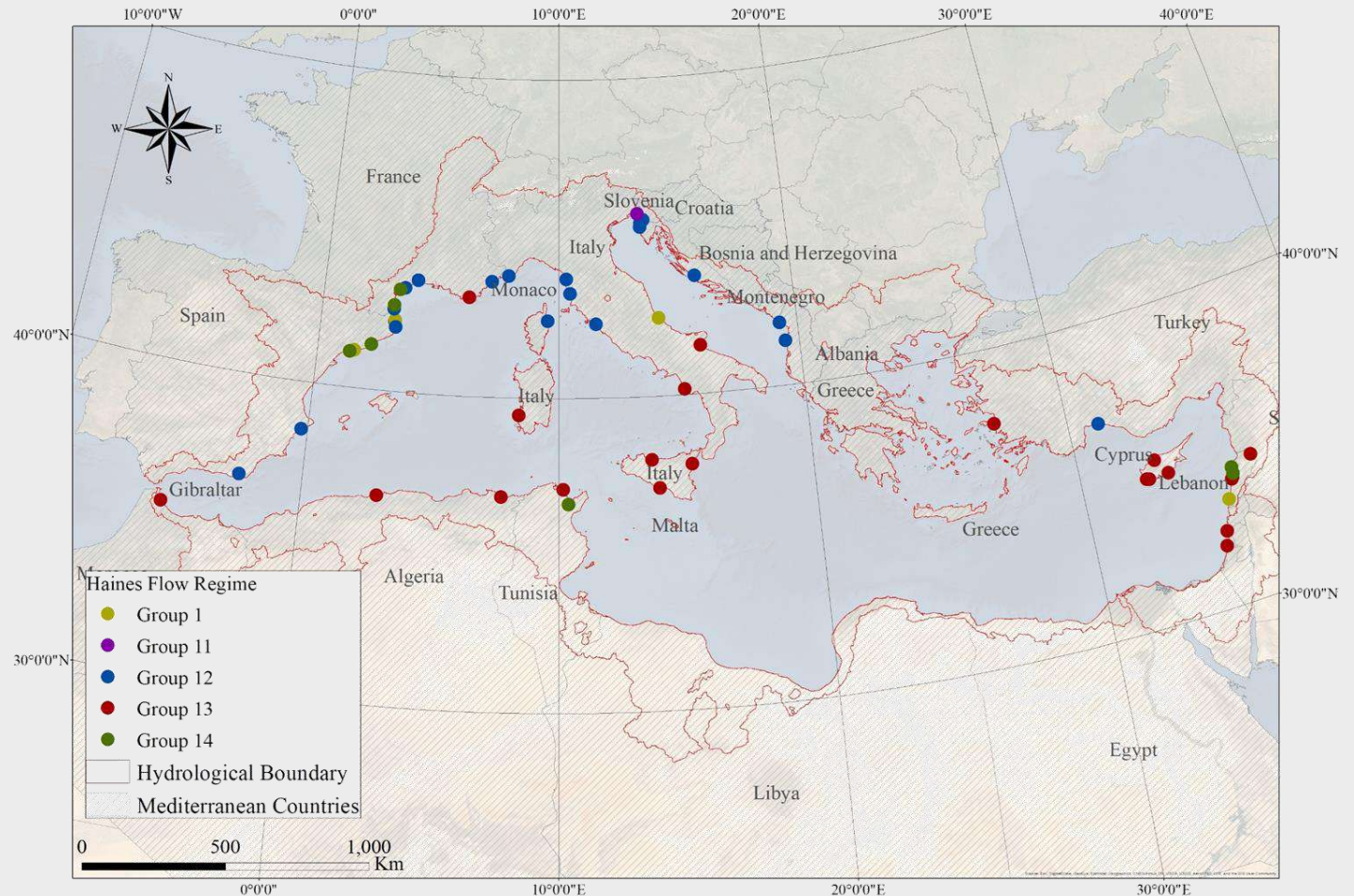
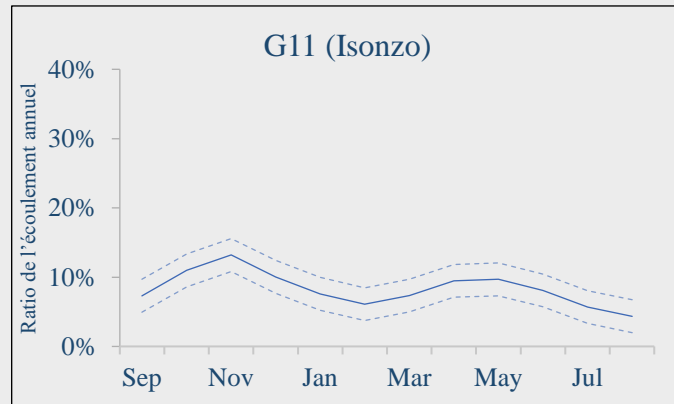
Group 1 : Uniforme

Groupe 11: Automne modéré

Groupe 12: Hiver modéré (Nord)

Groupe 13: Hiver extrême (Sud)

Groupe 14: Début printemps



I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

iv. Régimes hydrologiques

Classification de Haines (1988)

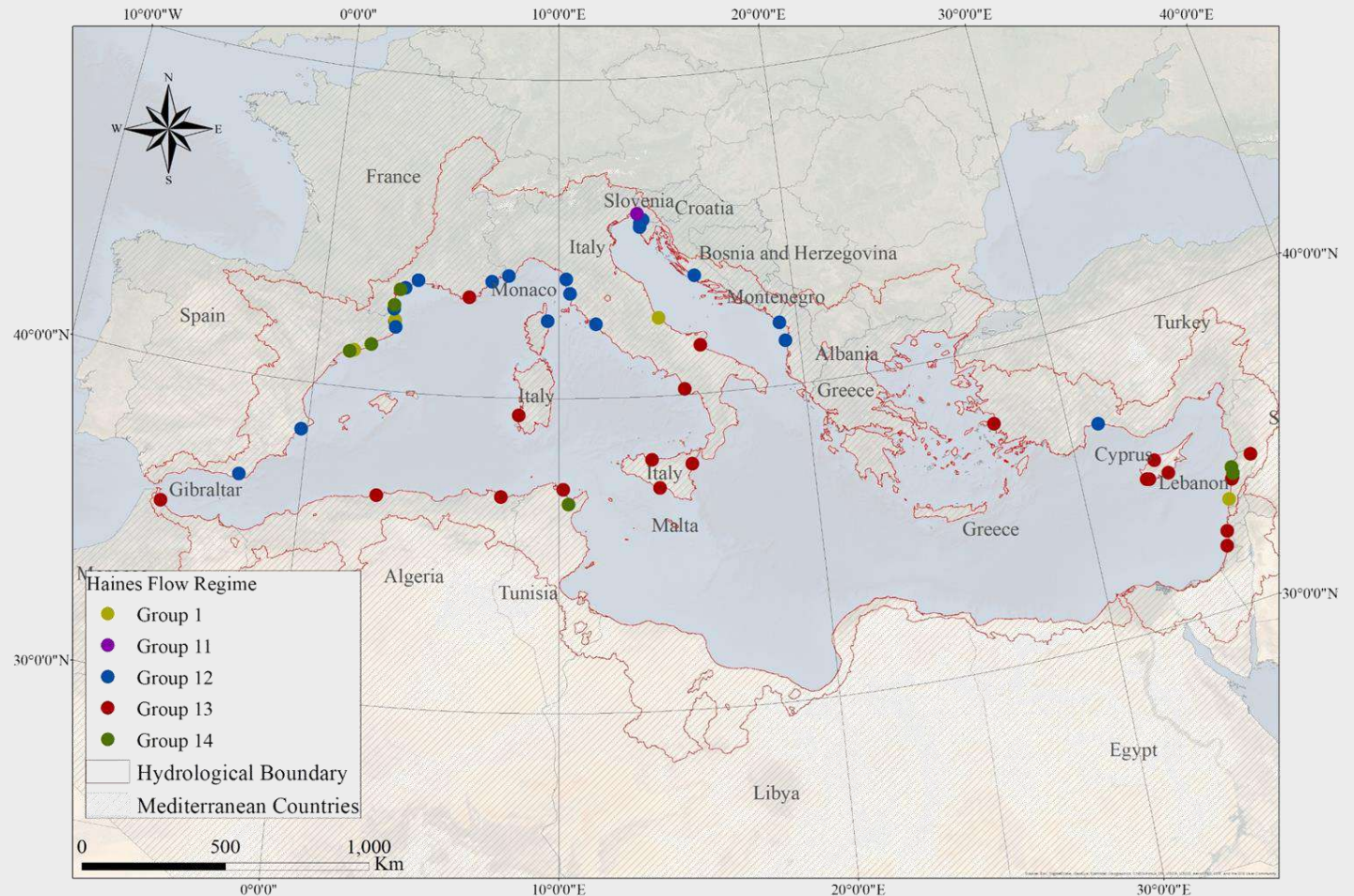
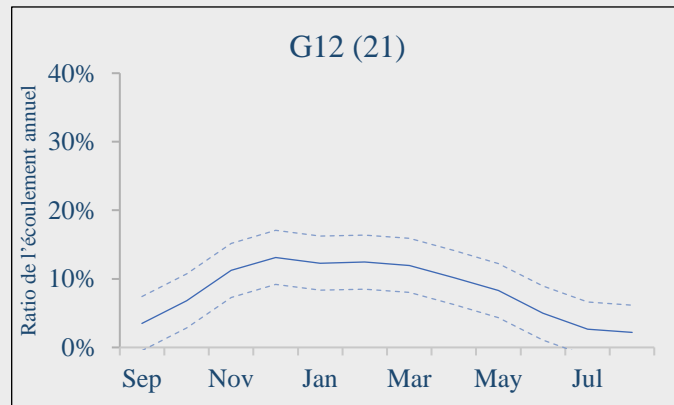
Group 1 : Uniforme

Groupe 11: Automne modéré

Groupe 12: Hiver modéré (Nord)

Groupe 13: Hiver extrême (Sud)

Groupe 14: Début printemps



I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

iv. Régimes hydrologiques

Classification de Haines (1988)

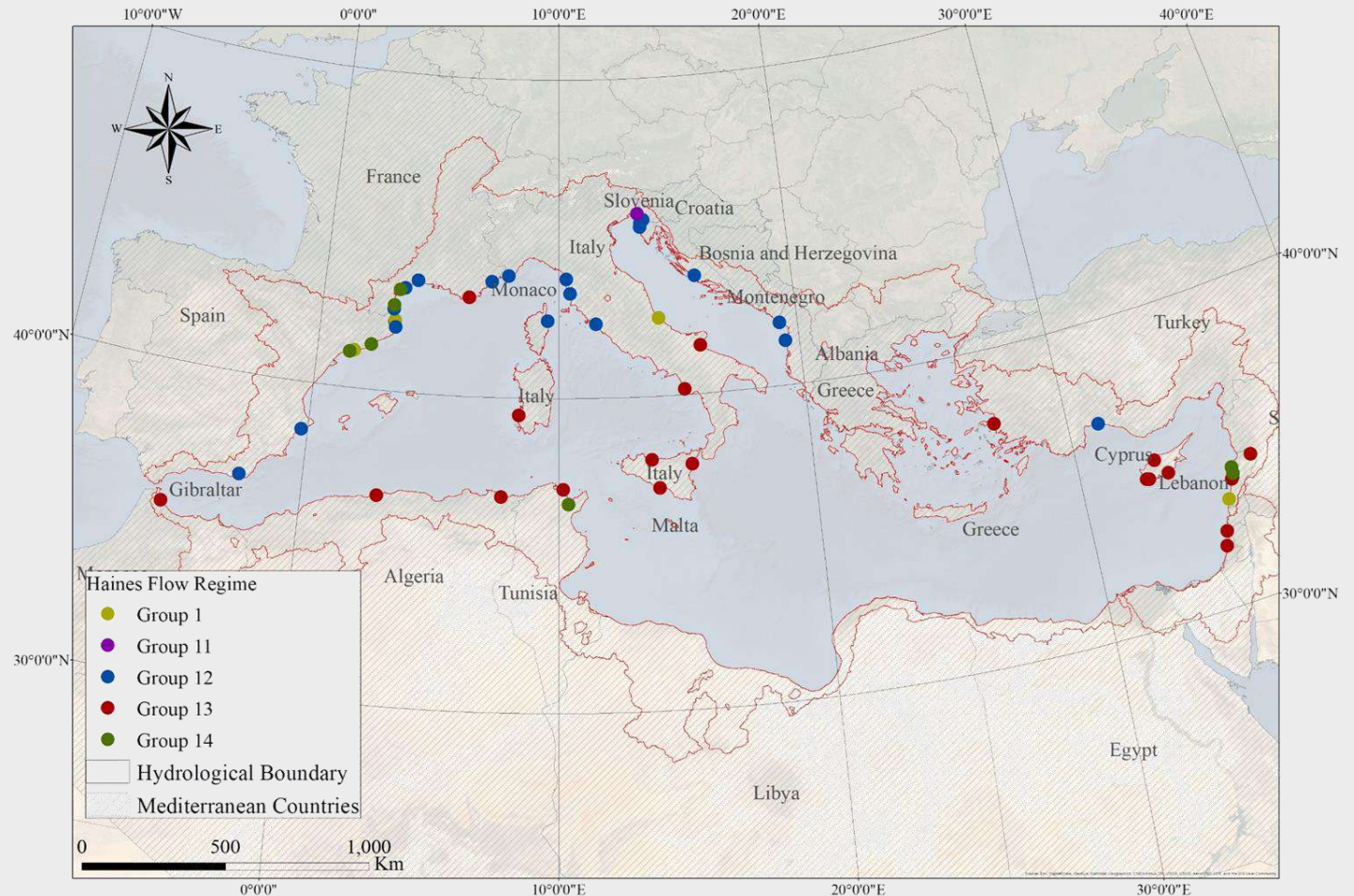
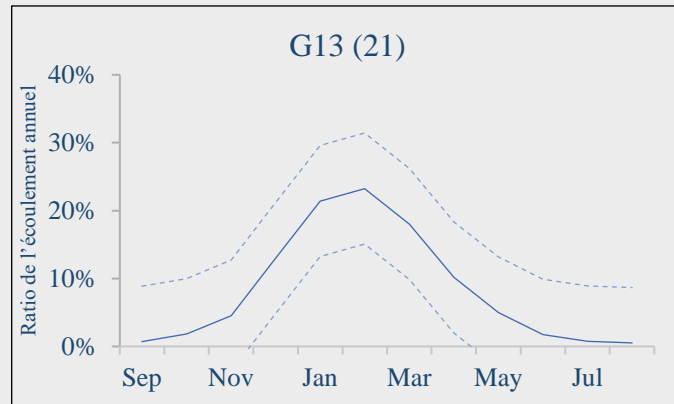
Group 1 : Uniforme

Groupe 11: Automne modéré

Groupe 12: Hiver modéré (Nord)

Groupe 13: Hiver extrême (Sud)

Groupe 14: Début printemps



I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

iv. Régimes hydrologiques

Classification de Haines (1988)

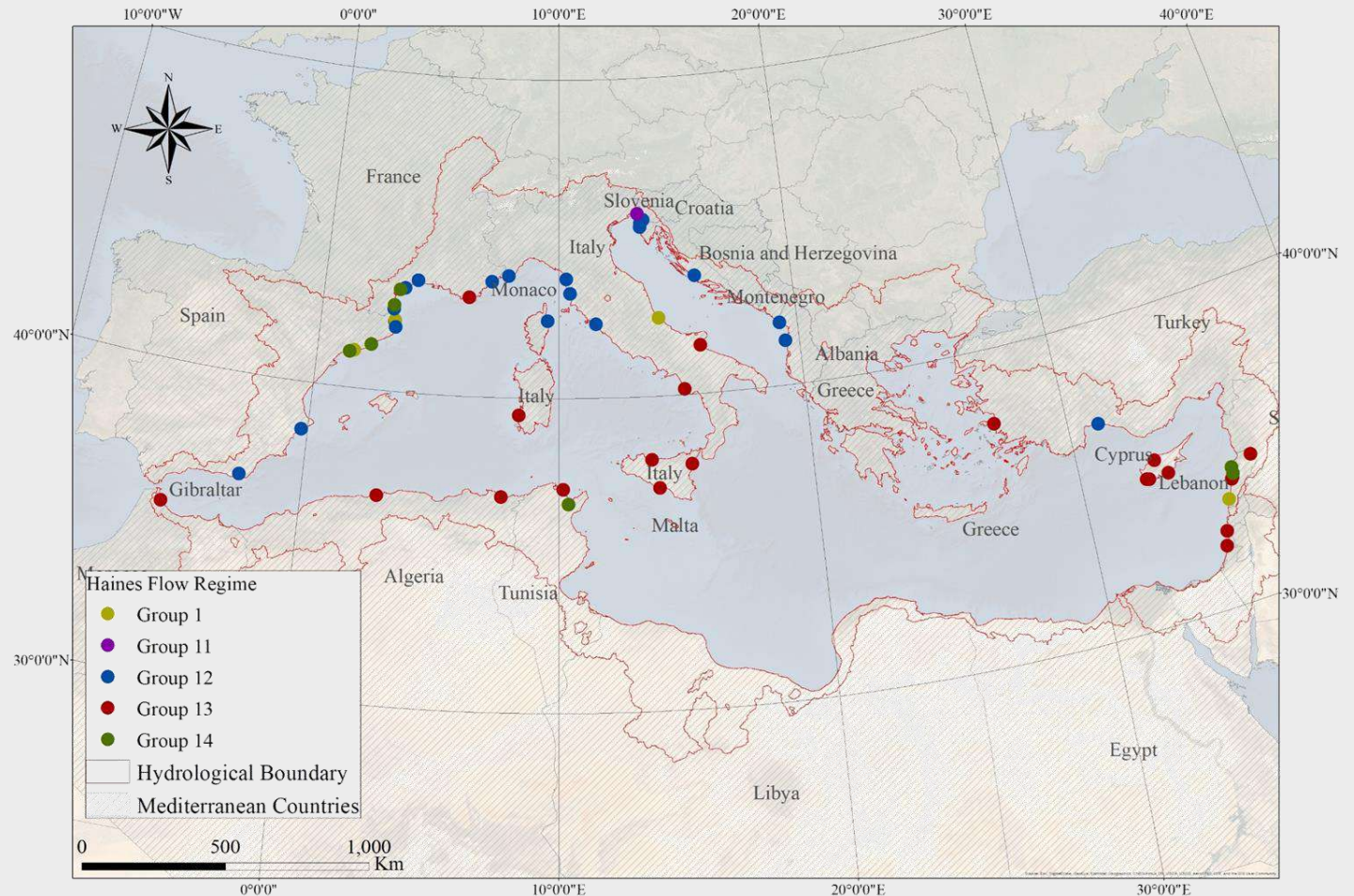
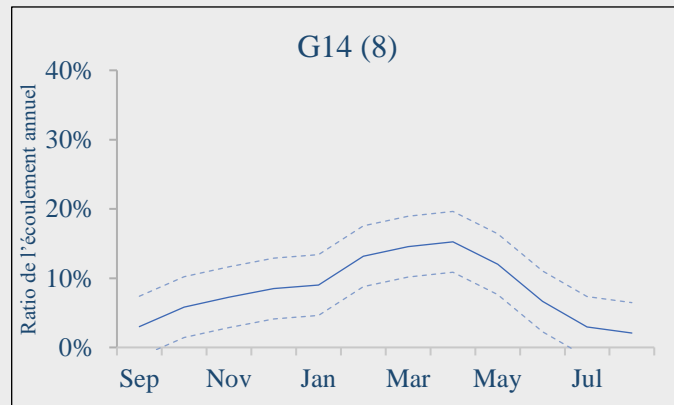
Group 1 : Uniforme

Groupe 11: Automne modéré

Groupe 12: Hiver modéré (Nord)

Groupe 13: Hiver extrême (Sud)

Groupe 14: Début printemps



PLAN

I. HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

- i. Frontières méditerranéennes
- ii. Climat méditerranéen
- iii. Paysage méditerranéen
- iv. Régimes hydrologiques

II. DISTRIBUTION DES RESSOURCES

- i. **Saisonnalité et aridité**
- ii. **Homogénéité et variabilité des bassins**

III. EVOLUTION ET DEFIS

- I. Anthropique
- II. Climatique

IV. PERSPECTIVES SUR LA GESTION

- i. Optimisation des stratégies nationales
- ii. Stratégies de collaborations

II- DISTRIBUTION DES RESSOURCES

i. Saisonnalité et aridité

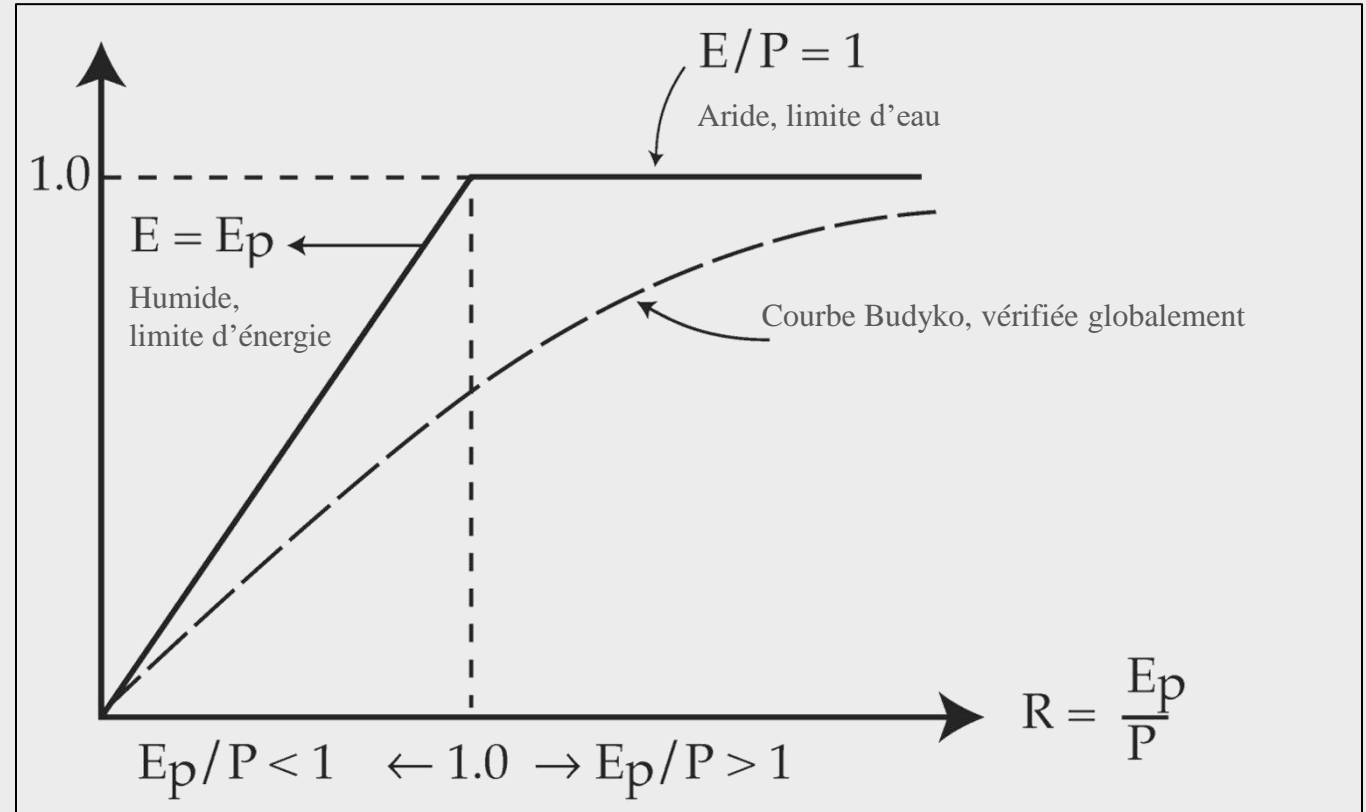
Analyse du comportement hydrologique et du forçage climatique et physiographique

- Analyse spatio-temporelle du bilan annuel
Budyko (1974), L'vovich (1979), Ponce & Shetty (1995a) et Sivapalan et al. (2011)
- Analyse des coefficients, des gains et des élasticités de l'écoulement total (K_r, K'_r, ρ_Q) et de l'écoulement de base (K_u, K'_u, ρ_U)
Ponce & Shetty (1995b), Harman et al. (2011)

II- DISTRIBUTION DES RESSOURCES

i. Saisonnalité et aridité

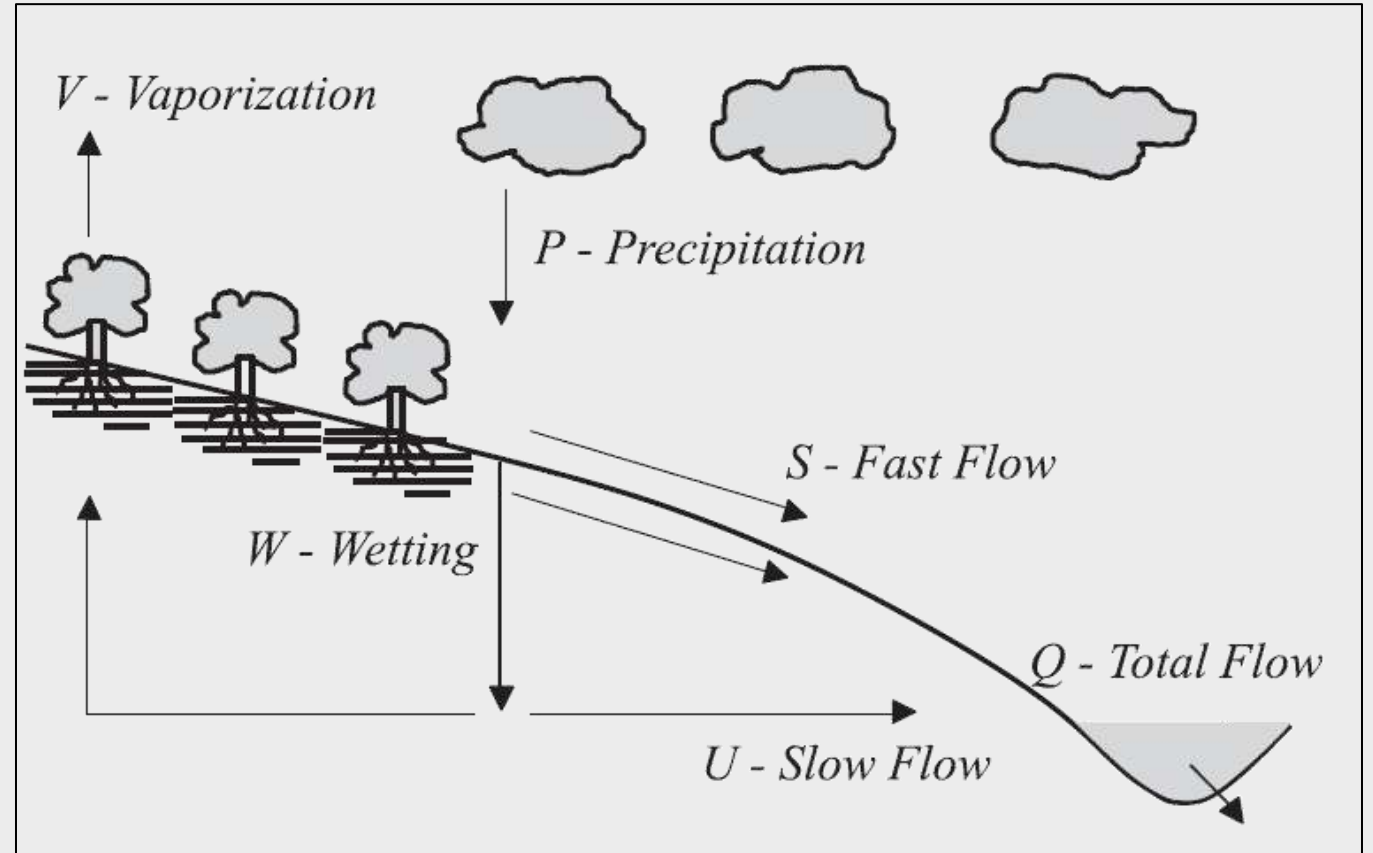
Modèle du bilan annuel	Equation
Budyko, 1974 Bilan énergétique/hydrique	$E = f(P, E_p)$
L'vovich, 1979 Répartition de la précipitation	$P = S + W$ $W = U + V$
Ponce et Shetty, 1995a Conceptuel proportionnel	$S = f(P, \lambda_s W_p)$ $U = f(W, \lambda_u V_p)$
Sivapalan, 2011 Adimensionnel	S^* U^*



II- DISTRIBUTION DES RESSOURCES

i. Saisonnalité et aridité

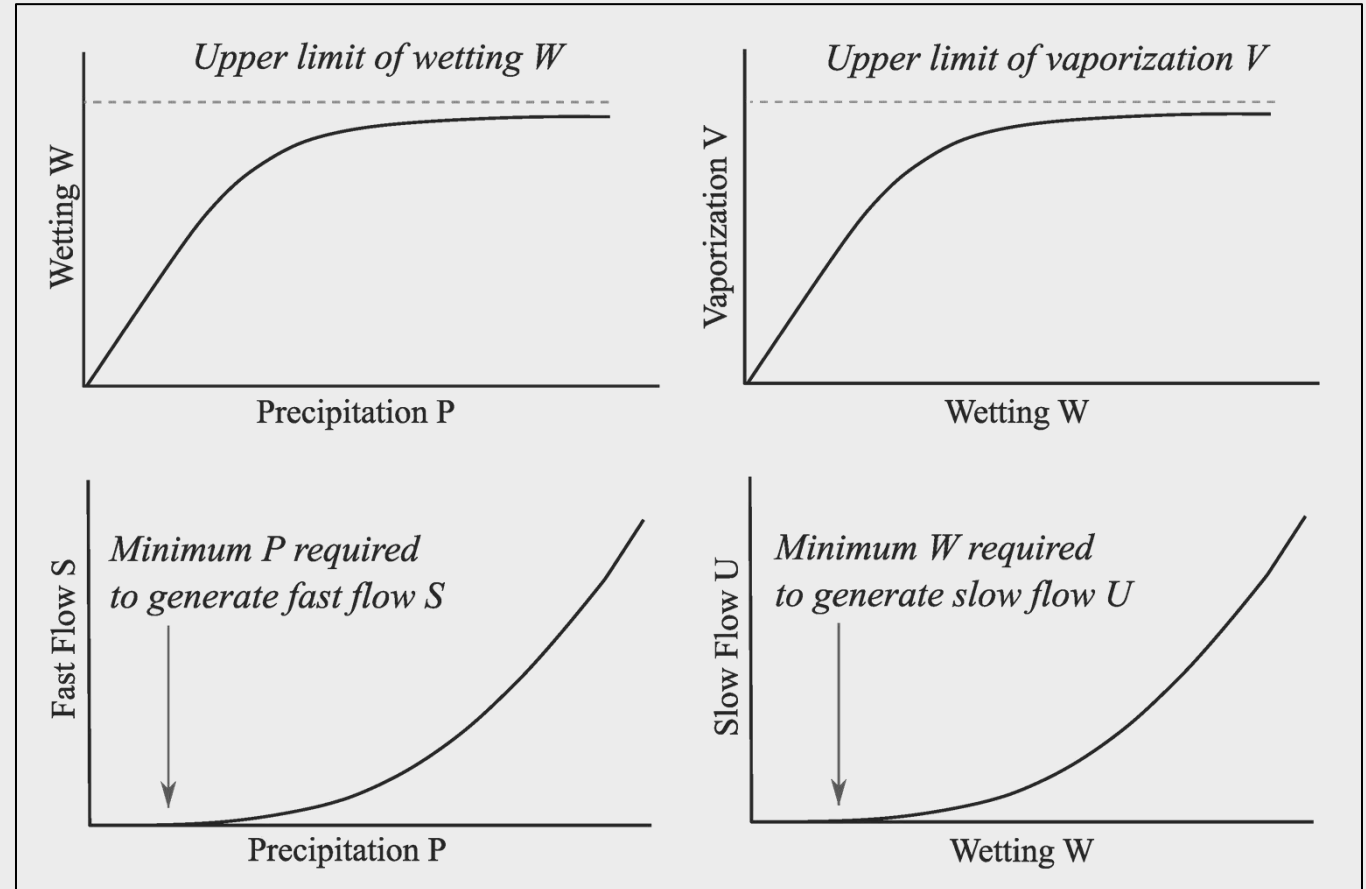
Modèle du bilan annuel	Equation
Budyko, 1974 Bilan énergétique/hydrique	$E = f(P, E_p)$
L'vovich, 1979 Répartition de la précipitation	$P = S + W$ $W = U + V$
Ponce et Shetty, 1995a Conceptuel proportionnel	$S = f(P, \lambda_s W_p)$ $U = f(W, \lambda_u V_p)$
Sivapalan, 2011 Adimensionnel	S^* U^*



II- DISTRIBUTION DES RESSOURCES

i. Saisonnalité et aridité

Modèle du bilan annuel	Equation
Budyko, 1974 Bilan énergétique/hydrique	$E = f(P, E_p)$
L'vovich, 1979 Répartition de la précipitation	$P = S + W$ $W = U + V$
Ponce et Shetty, 1995a Conceptuel proportionnel	$S = f(P, \lambda_s W_p)$ $U = f(W, \lambda_u V_p)$
Sivapalan, 2011 Adimensionnel	S^* U^*



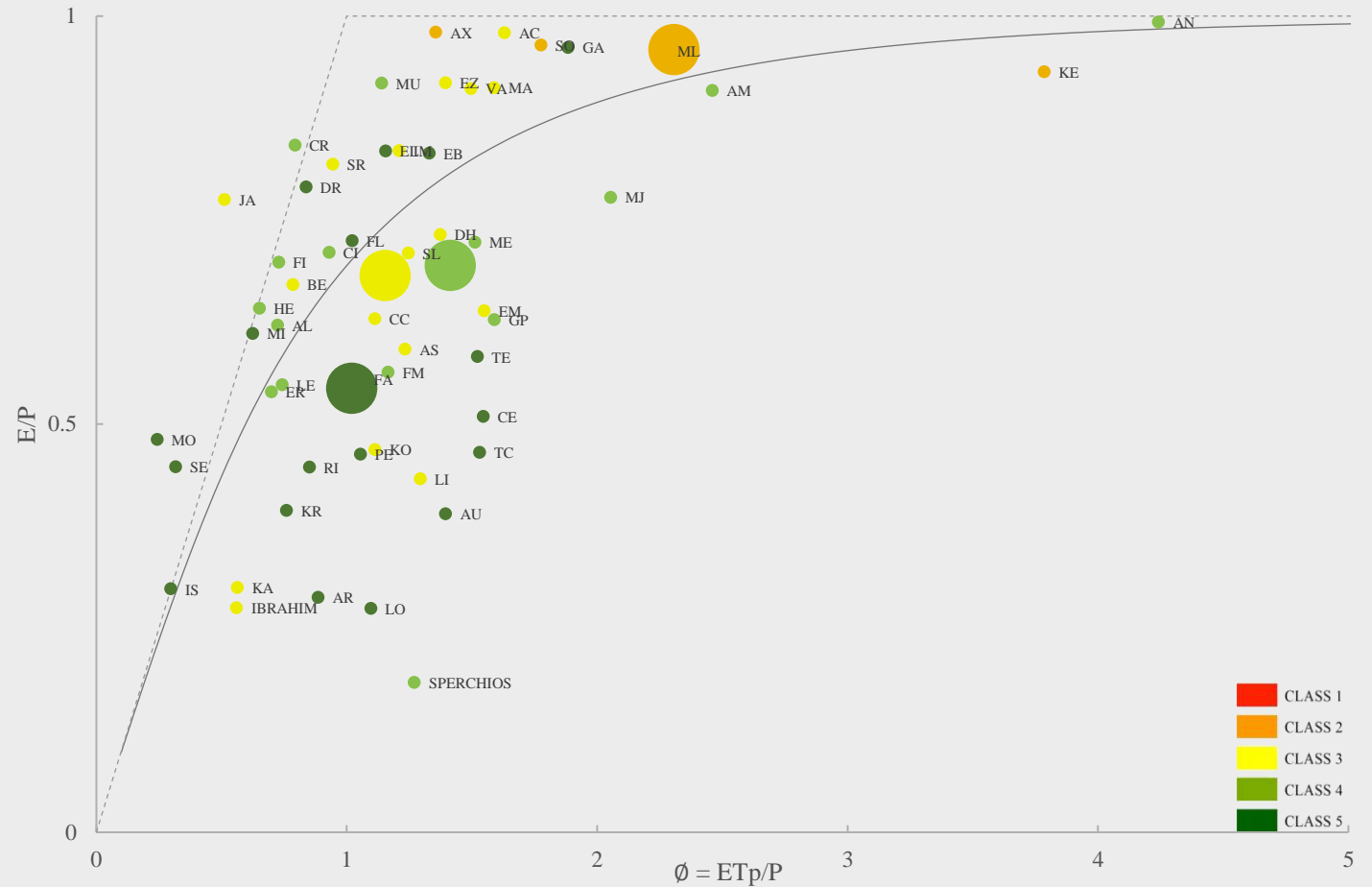
II- DISTRIBUTION DES RESSOURCES

i. Saisonnalité et aridité

Budyko

- Alignement avec la classification climatique
- Ressources beaucoup plus disponibles au Nord qu'au Sud
- B.V. CC3 de faible aridité appartient à PC4

Classe Climatique	P (mm)	E_p (mm)	E (mm)	E_p/P	E/P
CC2 (3)	473	903	457	2.3	1.0
CC3 (17)	839	856	541	1.2	0.7
CC4 (17)	758	843	496	1.4	0.7
CC5 (18)	1047	796	525	1.0	0.5



II- DISTRIBUTION DES RESSOURCES

i. Saisonnalité et aridité

Budyko

- Alignement avec la classification climatique
- Ressources beaucoup plus disponibles au Nord qu'au Sud
- B.V. CC3 de faible aridité appartient à PC4

Classe Climatique	P (mm)	E_p (mm)	E (mm)	E_p/P	E/P
CC2 (3)	473	903	457	2.3	1.0
CC3 (17)	839	856	541	1.2	0.7
CC4 (17)	758	843	496	1.4	0.7
CC5 (18)	1047	796	525	1.0	0.5



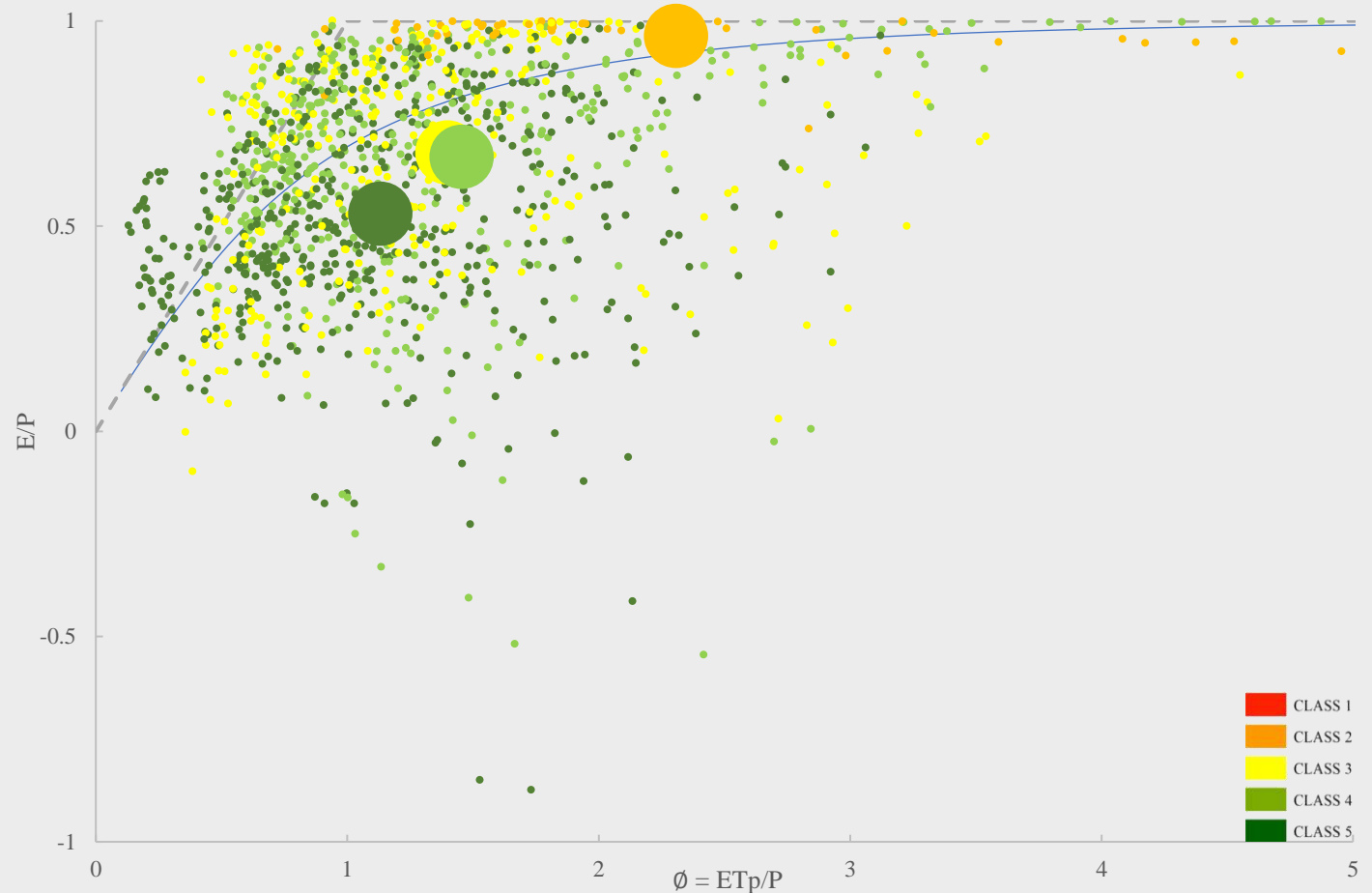
II- DISTRIBUTION DES RESSOURCES

i. Saisonnalité et aridité

Budyko

- Alignement avec la classification climatique
- Ressources beaucoup plus disponibles au Nord qu'au Sud
- B.V. CC3 de faible aridité appartient à PC4

Classe Climatique	P (mm)	E_p (mm)	E (mm)	E_p/P	E/P
CC2 (3)	473	903	457	2.3	1.0
CC3 (17)	839	856	541	1.2	0.7
CC4 (17)	758	843	496	1.4	0.7
CC5 (18)	1047	796	525	1.0	0.5



II- DISTRIBUTION DES RESSOURCES

i. Saisonnalité et aridité

Coefficient d'écoulement total K_r
et de base K_u

K_r (R/P) et K_u (U/P) alignés avec la classification climatique

limite supérieure $P > 1500$ mm

$$K_r = 0.7$$

$$K_u = 0.6$$

PC4

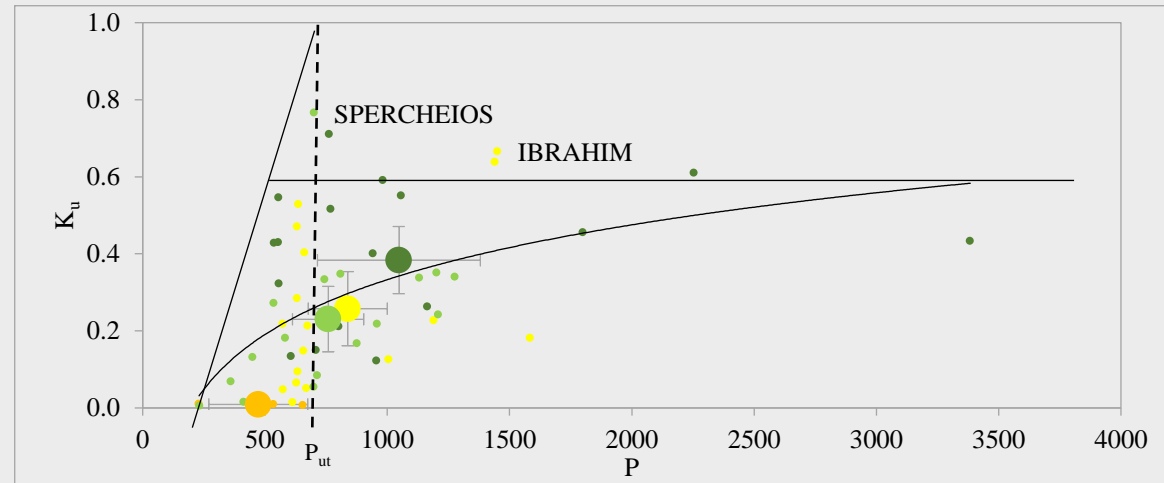
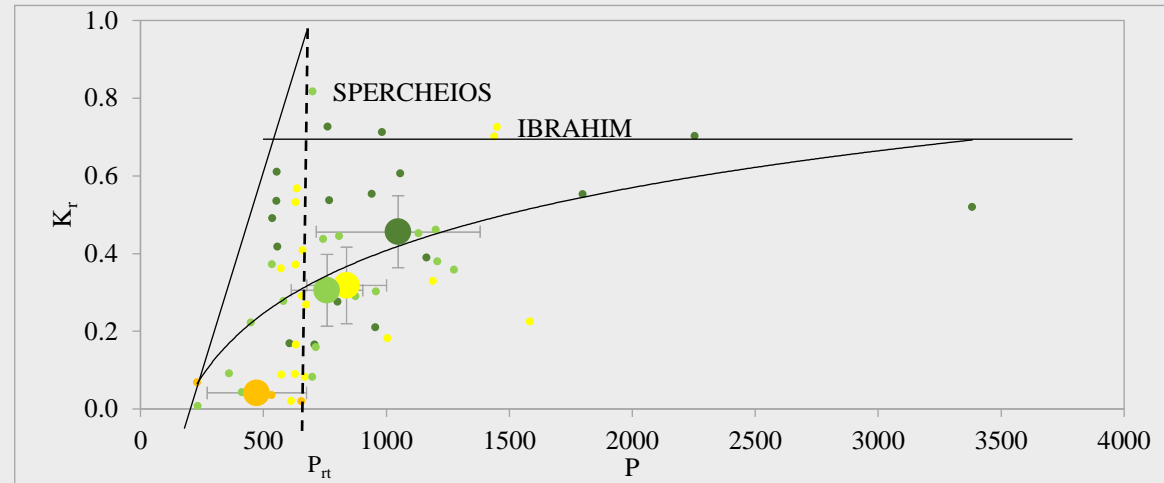
$$K_r = 0.47$$

$$K_u = 0.42$$

PC6

$$K_r = 0.20$$

$$K_u = 0.15$$



II- DISTRIBUTION DES RESSOURCES

i. Saisonnalité et aridité

Coefficient d'écoulement total K_r
et de base K_u

K_r (R/P) et K_u (U/P) alignés avec la classification climatique

limite supérieure $P > 1500$ mm

$$K_r = 0.7$$

$$K_u = 0.6$$

PC4

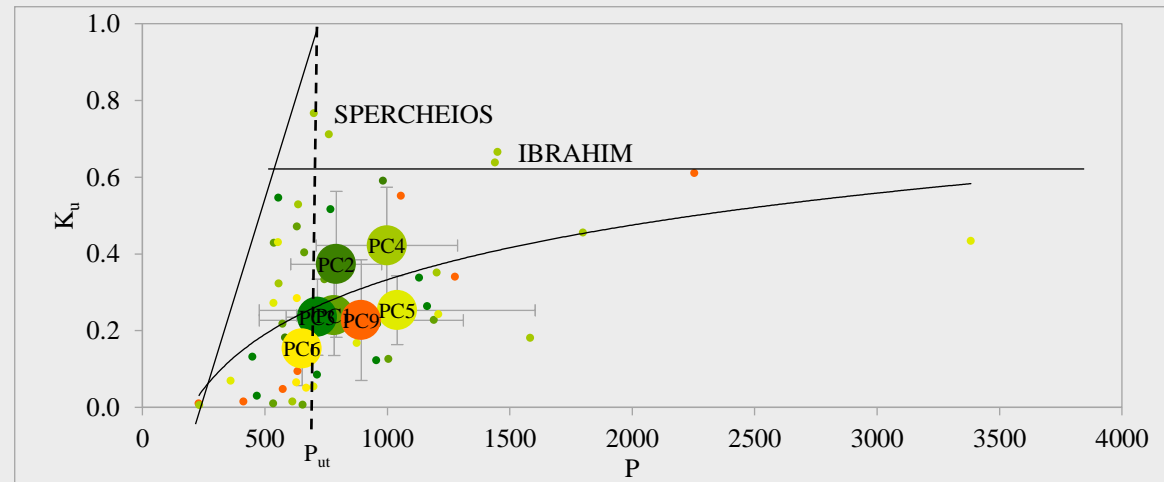
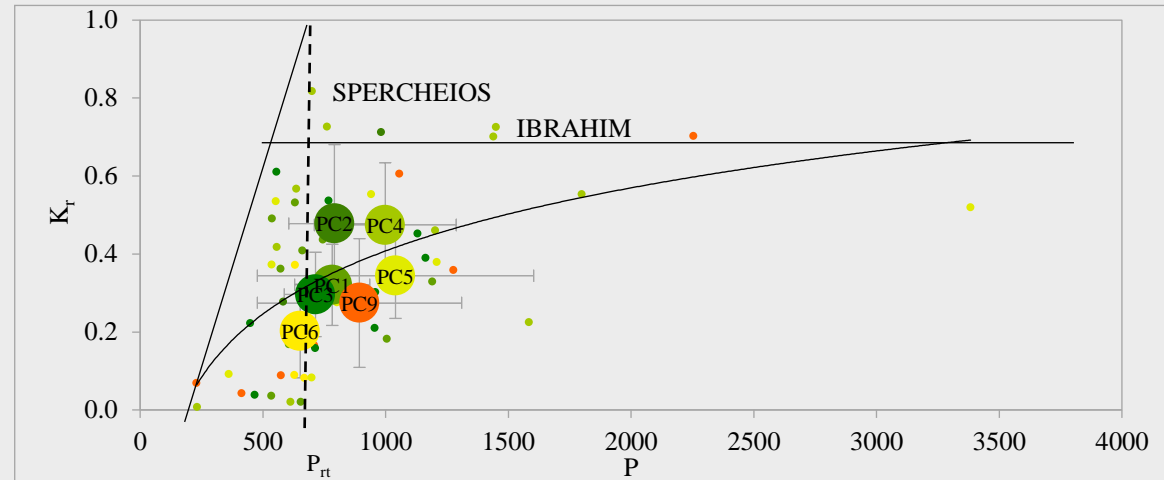
$$K_r = 0.47$$

$$K_u = 0.42$$

PC6

$$K_r = 0.20$$

$$K_u = 0.15$$



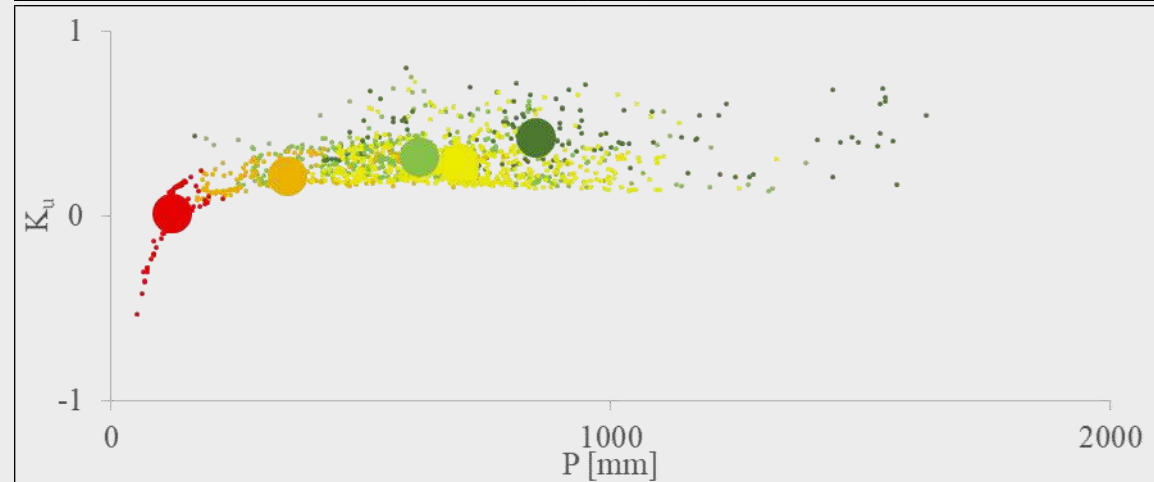
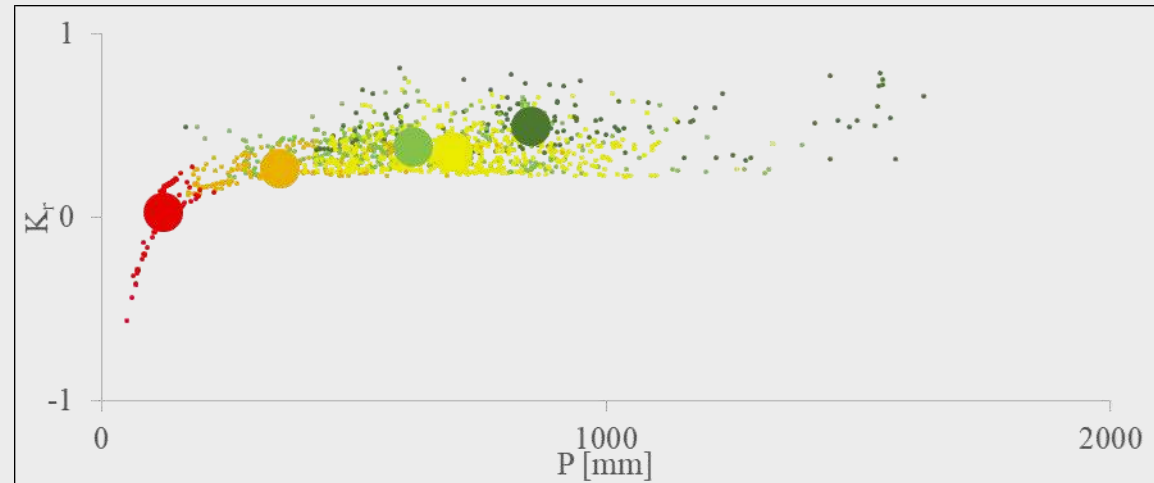
II- DISTRIBUTION DES RESSOURCES

ii. Homogénéité et variabilité

Coefficients d'écoulements

Evolution graduelle avec le climat

Max K_r et K_u pour PC4



- CLASS 1
- CLASS 2
- CLASS 3
- CLASS 4
- CLASS 5

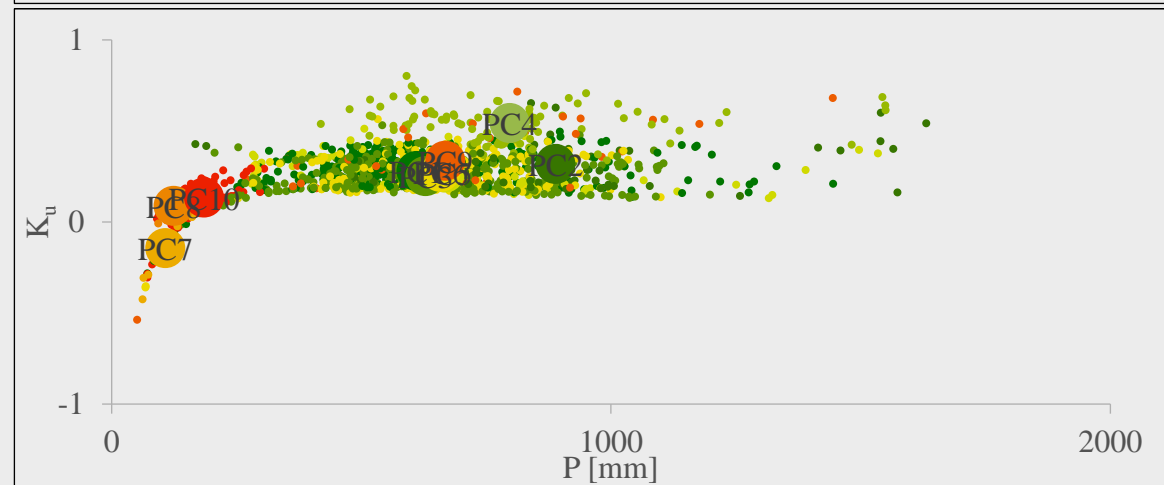
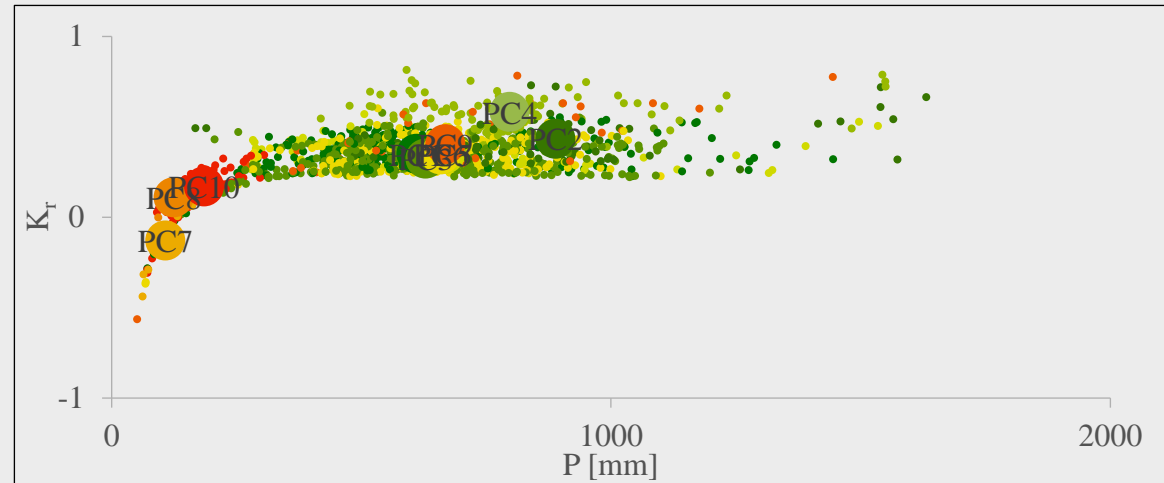
II- DISTRIBUTION DES RESSOURCES

ii. Homogénéité et variabilité

Coefficients d'écoulements

Evolution graduelle avec le climat

Max K_r et K_u pour PC4



II- DISTRIBUTION DES RESSOURCES

ii. Homogénéité et variabilité

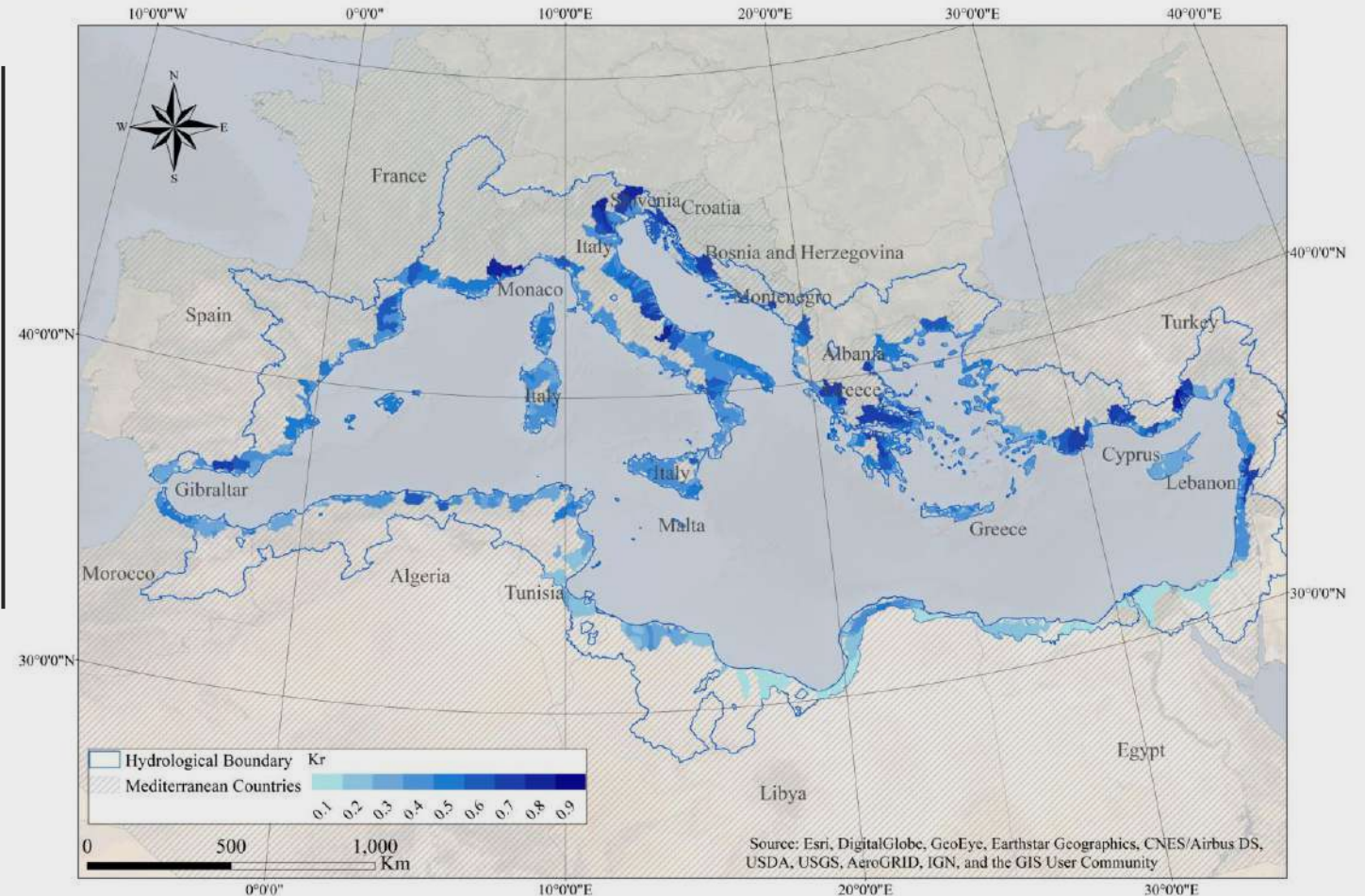
Coefficients d'écoulements

Carte des coefficients régionalisés d'écoulement K_r et K_u

Variabilité spatiale

Ressources disponibles au Nord et une sélection de bassins

Régions remarquables



II- DISTRIBUTION DES RESSOURCES

ii. Homogénéité et variabilité

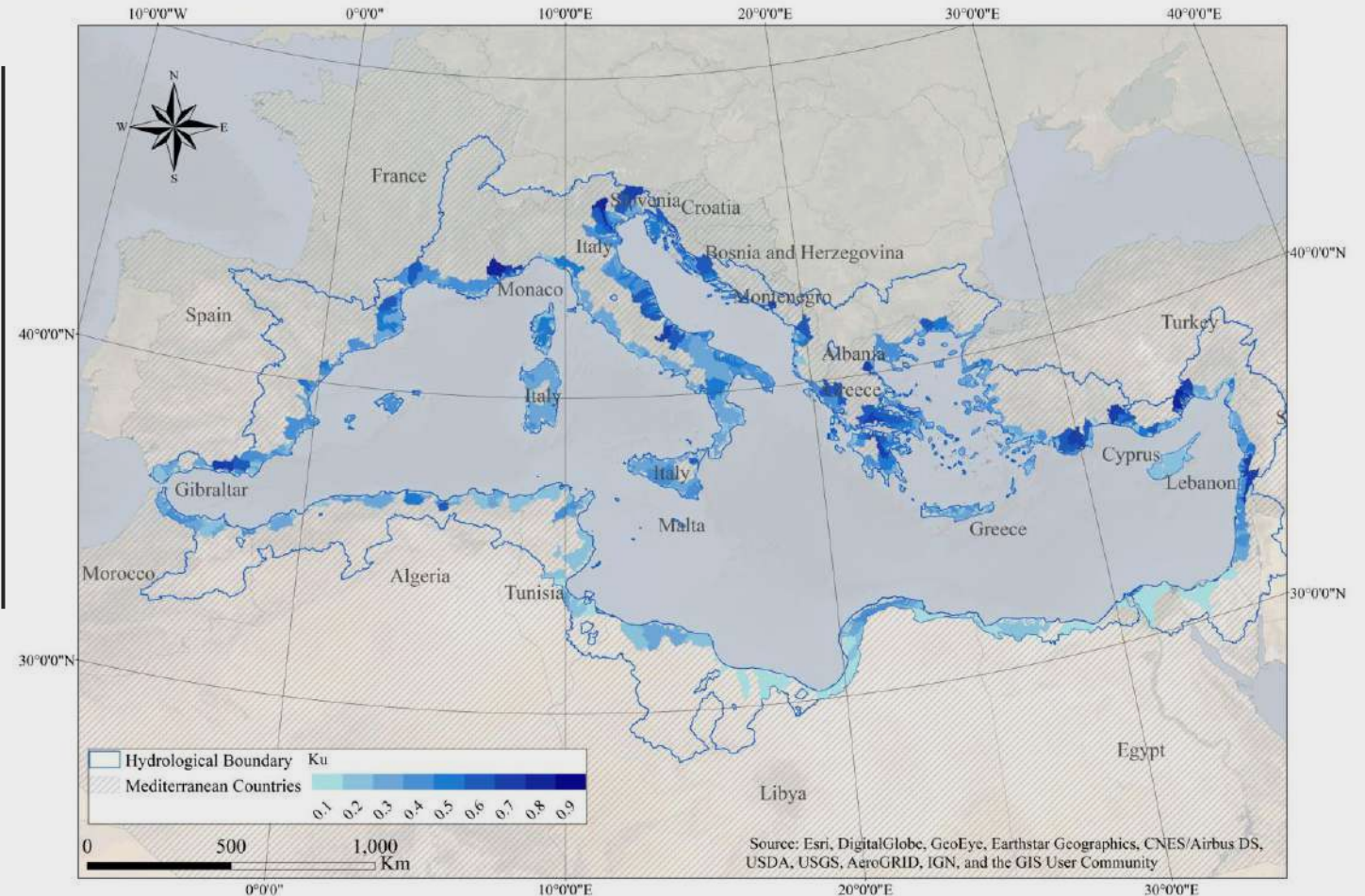
Coefficients d'écoulements

Carte des coefficients régionalisés d'écoulement K_r et K_u

Variabilité spatiale

Ressources disponibles au Nord et une sélection de bassins

Régions remarquables



II- DISTRIBUTION DES RESSOURCES

ii. Homogénéité et variabilité

- Régimes hydrologiques alignés avec la classification climatique.
- Les courbes de Budyko ont permis d'identifier le forçage climatique.
- Modélisation du bilan annuel et comparaison inter-bassins et interannuelles
- Les modèles du bilan annuel indiquent des tendances méditerranéennes similaires au climat, direction Sud – Nord
- Les modèles du bilan indiquent une homogénéité hydrologique pour des classes physiographiques spécifiques telles PC4.

PLAN

- I. **HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS**
 - i. Frontières méditerranéennes
 - ii. Climat méditerranéen
 - iii. Paysage méditerranéen
 - iv. Régimes hydrologiques

- II. **DISTRIBUTION DES RESSOURCES**
 - i. Saisonnalité et aridité
 - ii. Homogénéité et variabilité des bassins

- III. **EVOLUTION ET DEFIS**
 - I. **Anthropique**
 - II. **Climatique**

- IV. **PERSPECTIVES SUR LA GESTION**
 - i. Optimisation des stratégies nationales
 - ii. Stratégies de collaborations

III- EVOLUTION ET DEFIS

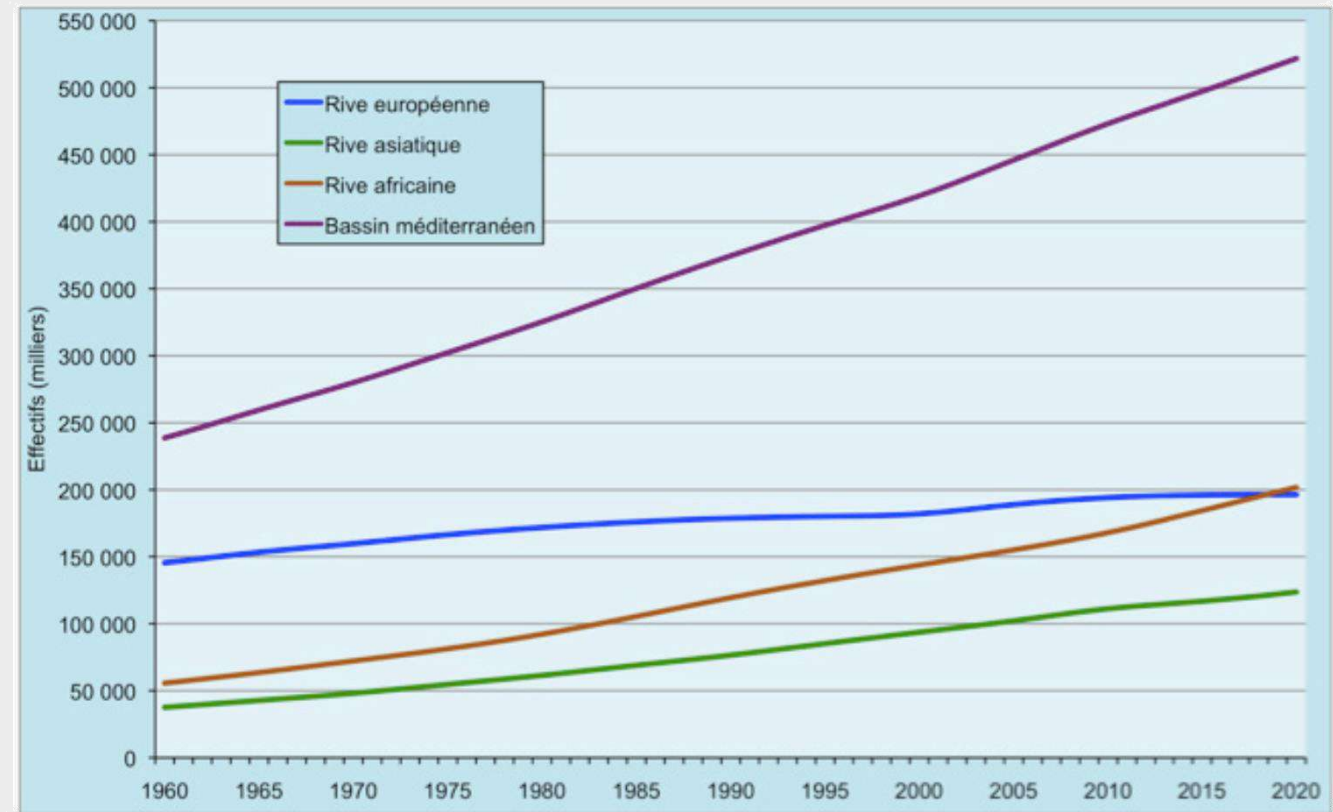
i. Anthropique

Croissance démographique

En Millions d'habitants

Rive	1960	2020
Europe	148	198
Asie	36	120
Afrique	55	204
Méditerranée	239	522

*Les notes du Plan Bleu, #38, Tendances démographiques, PlanBleu, Octobre 2020



III- EVOLUTION ET DEFIS

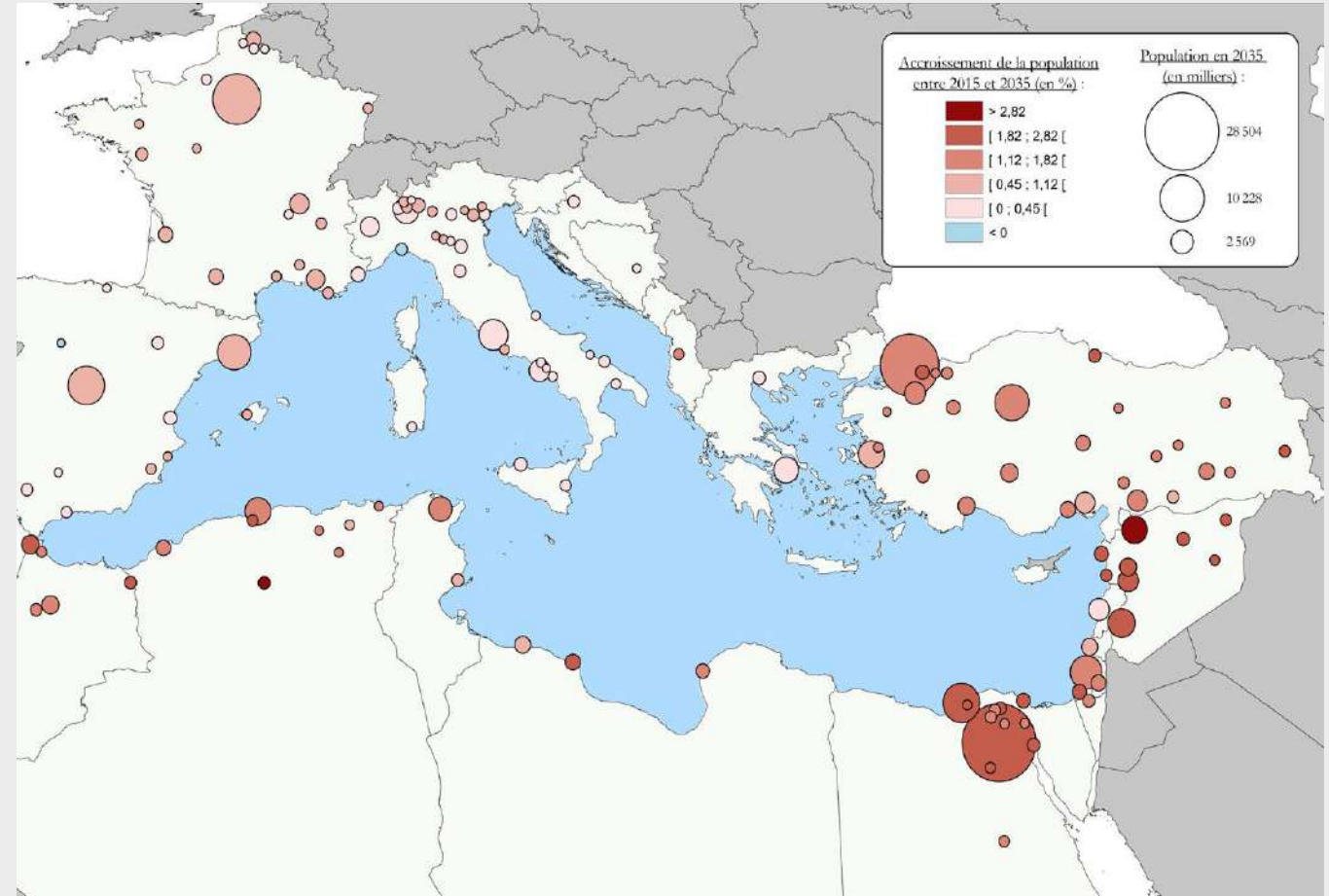
i. Anthropique

Croissance démographique

En Millions d'habitants

Rive	1960	2020
Europe	148	198
Asie	36	120
Afrique	55	204
Méditerranée	239	522

*Les notes du Plan Bleu, #38, Tendances démographiques, PlanBleu, Octobre 2020



III- EVOLUTION ET DEFIS

ii. Naturelle

Evolution climatique

Tendance générale vers une aridification

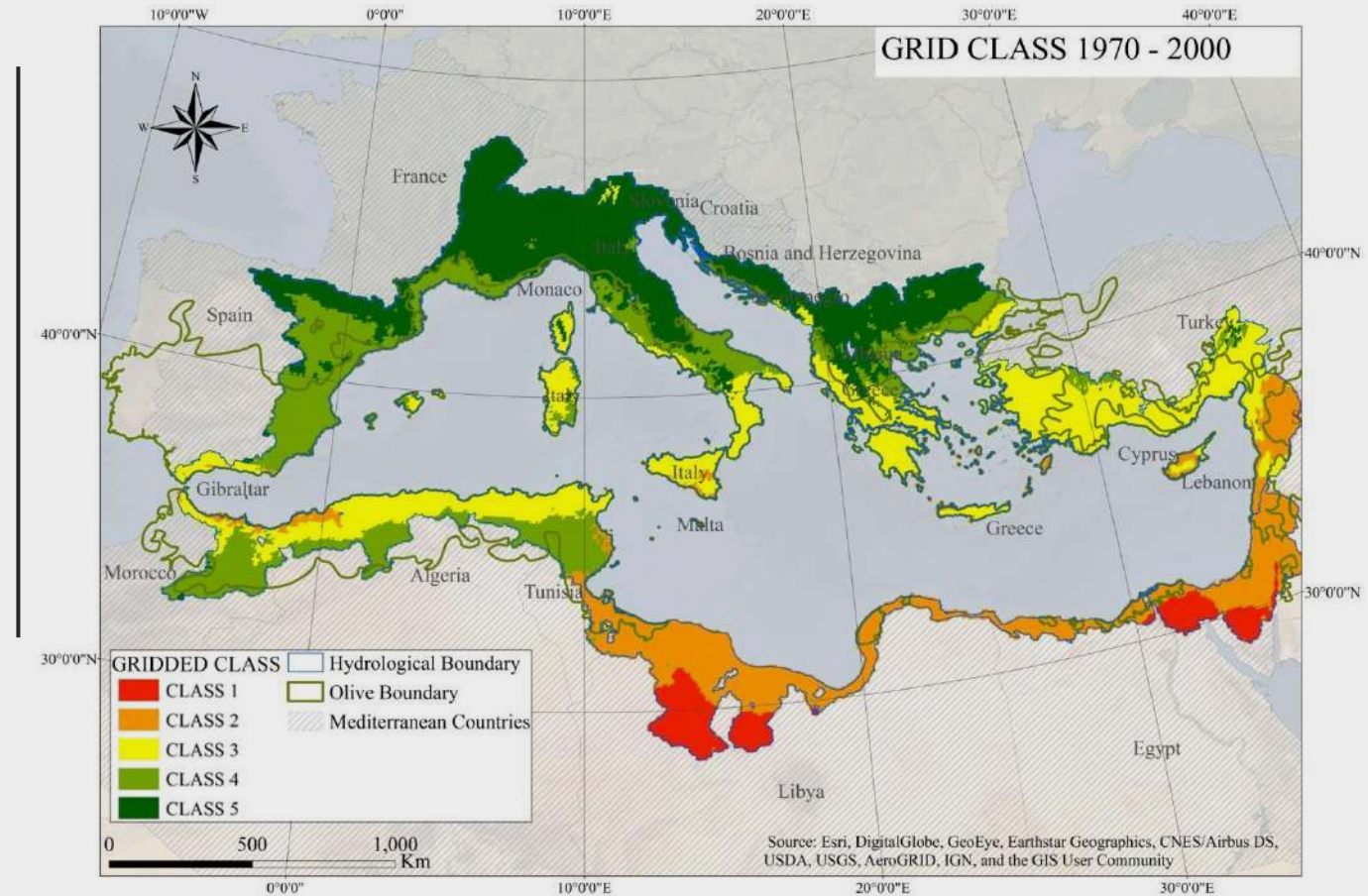
ALADIN RCP-4.5

+1.4 <T< +3.5 °C;

-10% <P<+10%

Classe 4 $I_S = 0.45$ (+7%)
 $I_{Arid} = 2.73$ (+6%)

Classe 5 $I_S = 0.66$ (+9%)
 $I_{Arid} = 1.06$ (+20%)



III- EVOLUTION ET DEFIS

ii. Naturelle

Evolution climatique

Tendance générale vers une aridification

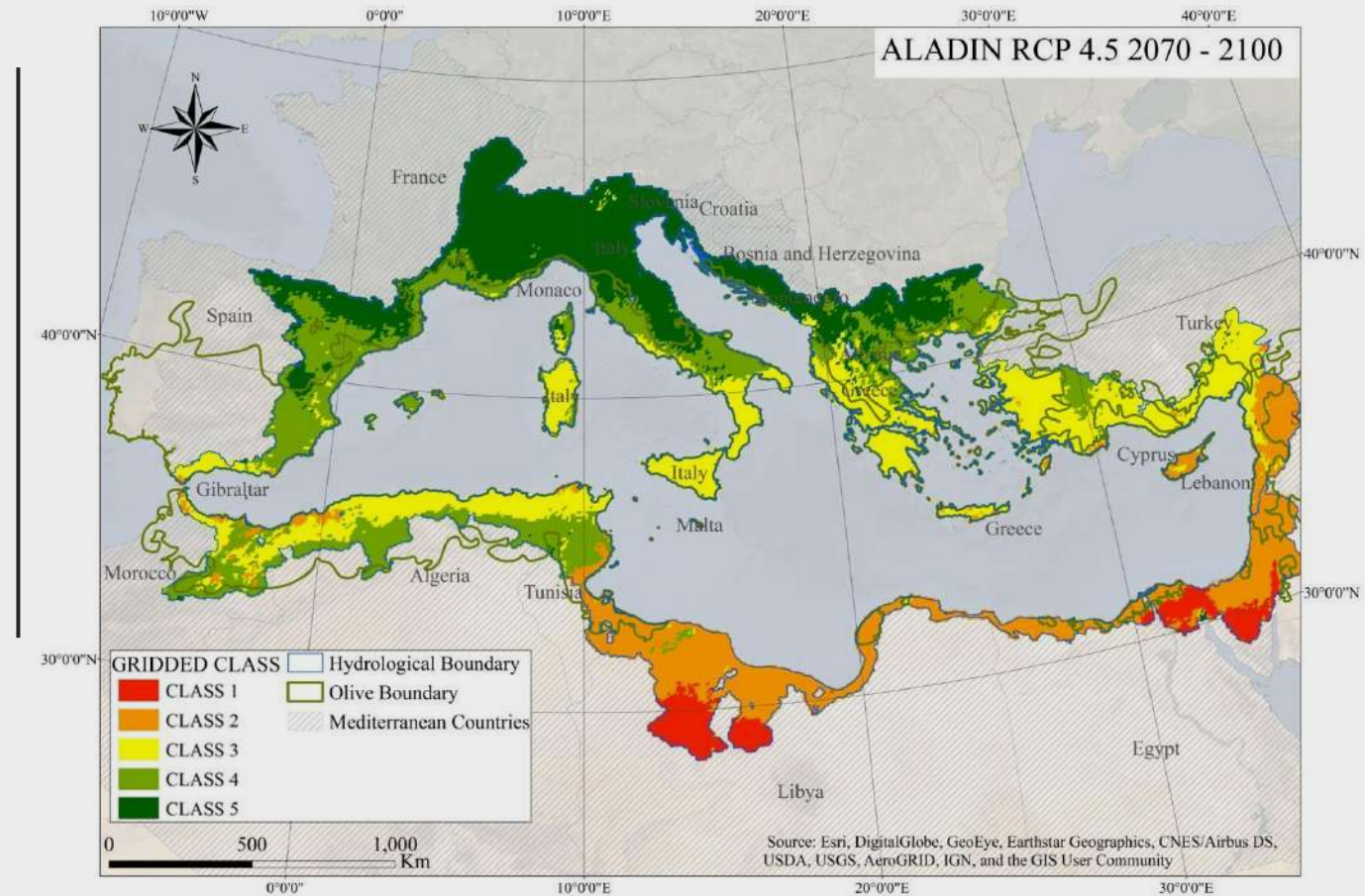
ALADIN RCP-4.5

+1.4 < T < +3.5 °C;

-10% < P < +10%

Classe 4 $I_S = 0.45$ (+7%)
 $I_{Arid} = 2.73$ (+6%)

Classe 5 $I_S = 0.66$ (+9%)
 $I_{Arid} = 1.06$ (+20%)



III- EVOLUTION ET DEFIS

ii. Naturelle

Evolution climatique

Tendance générale vers une aridification

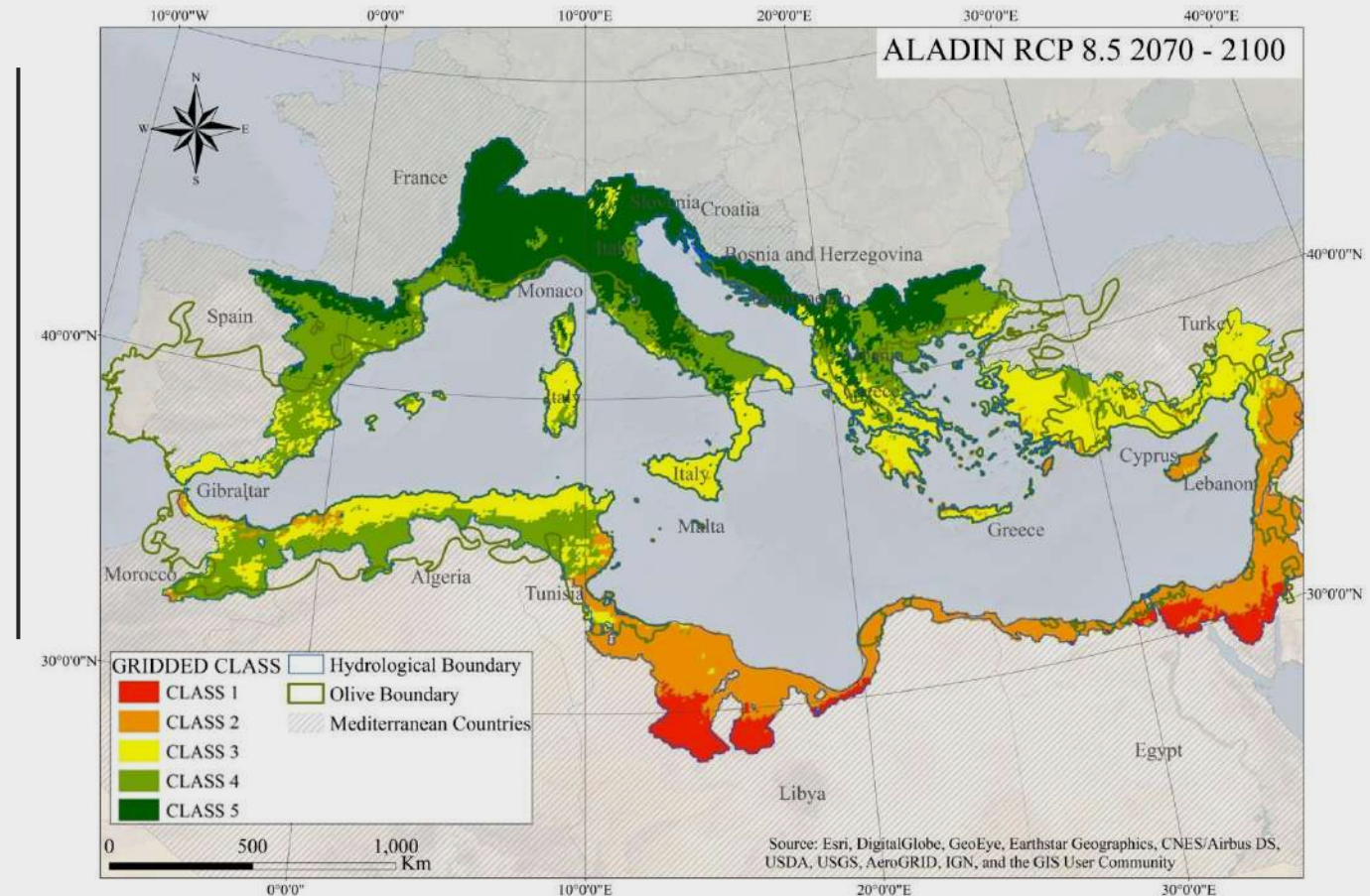
ALADIN RCP-4.5

+1.4 <T< +3.5 °C;

-10% <P<+10%

Classe 4 $I_S = 0.45$ (+7%)
 $I_{Arid} = 2.73$ (+6%)

Classe 5 $I_S = 0.66$ (+9%)
 $I_{Arid} = 1.06$ (+20%)



III- EVOLUTION ET DEFIS

ii. Naturelle

Evolution climatique

Tendance générale vers une aridification

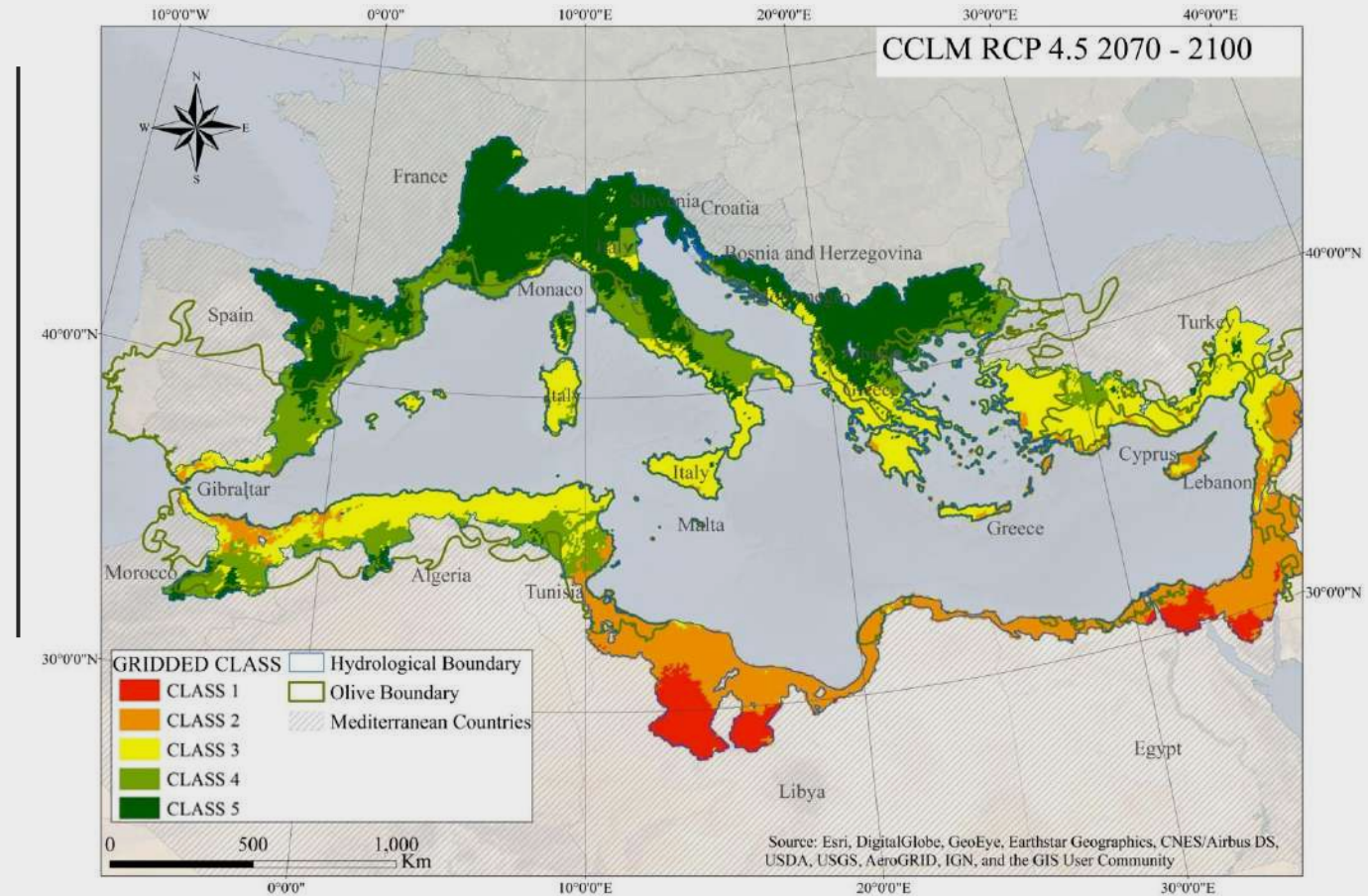
ALADIN RCP-4.5

+1.4 <T< +3.5 °C;

-10% <P<+10%

Classe 4 $I_S = 0.45$ (+7%)
 $I_{Arid} = 2.73$ (+6%)

Classe 5 $I_S = 0.66$ (+9%)
 $I_{Arid} = 1.06$ (+20%)



III- EVOLUTION ET DEFIS

ii. Naturelle

Evolution climatique

Tendance générale vers une aridification

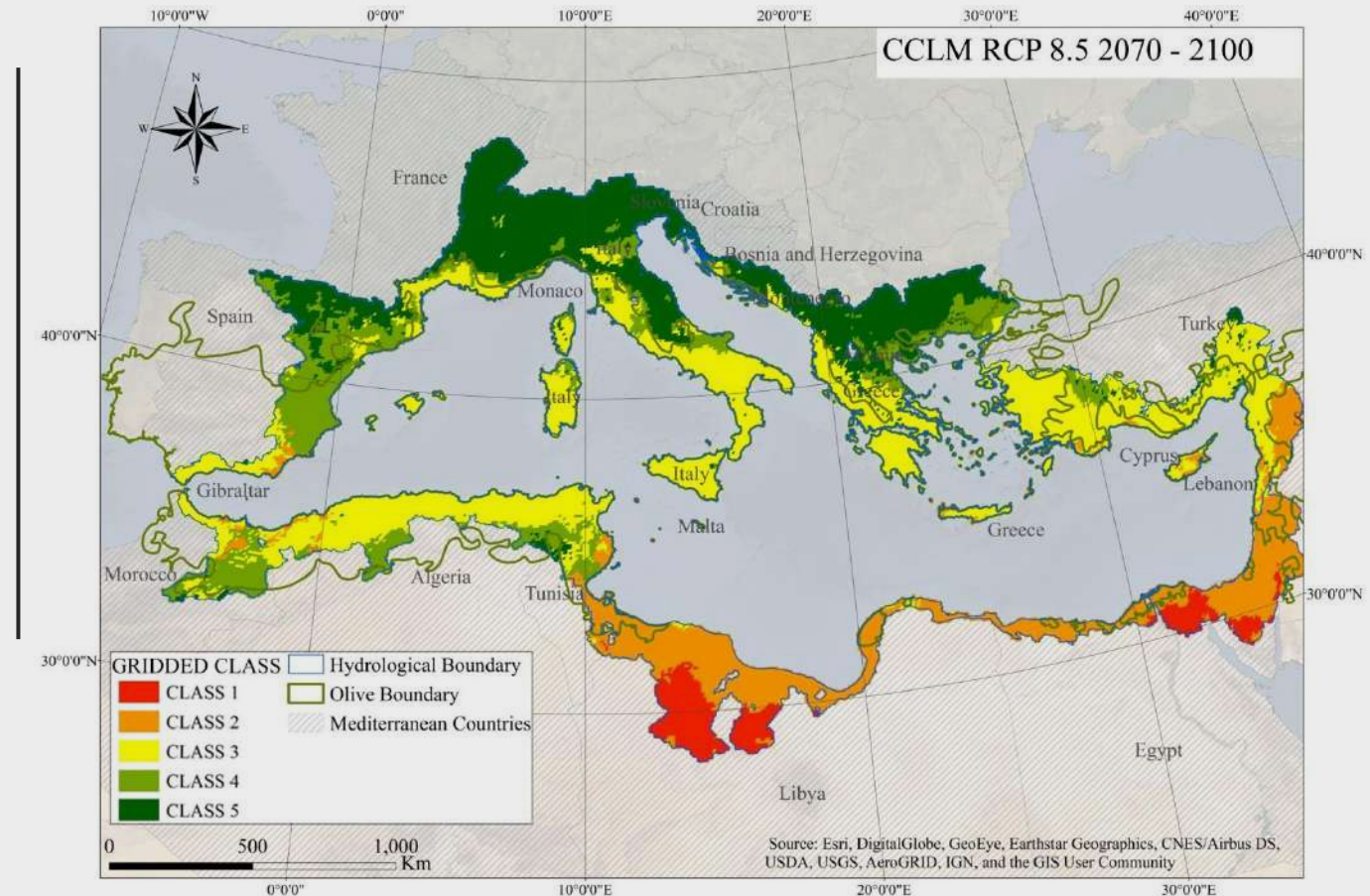
ALADIN RCP-4.5

+1.4 <T< +3.5 °C;

-10% <P<+10%

Classe 4 $I_S = 0.45$ (+7%)
 $I_{Arid} = 2.73$ (+6%)

Classe 5 $I_S = 0.66$ (+9%)
 $I_{Arid} = 1.06$ (+20%)



III- EVOLUTION ET DEFIS

iii. Projection climatique

Coefficients d'écoulements

Les moyennes augmentent
Les extrêmes diminuent

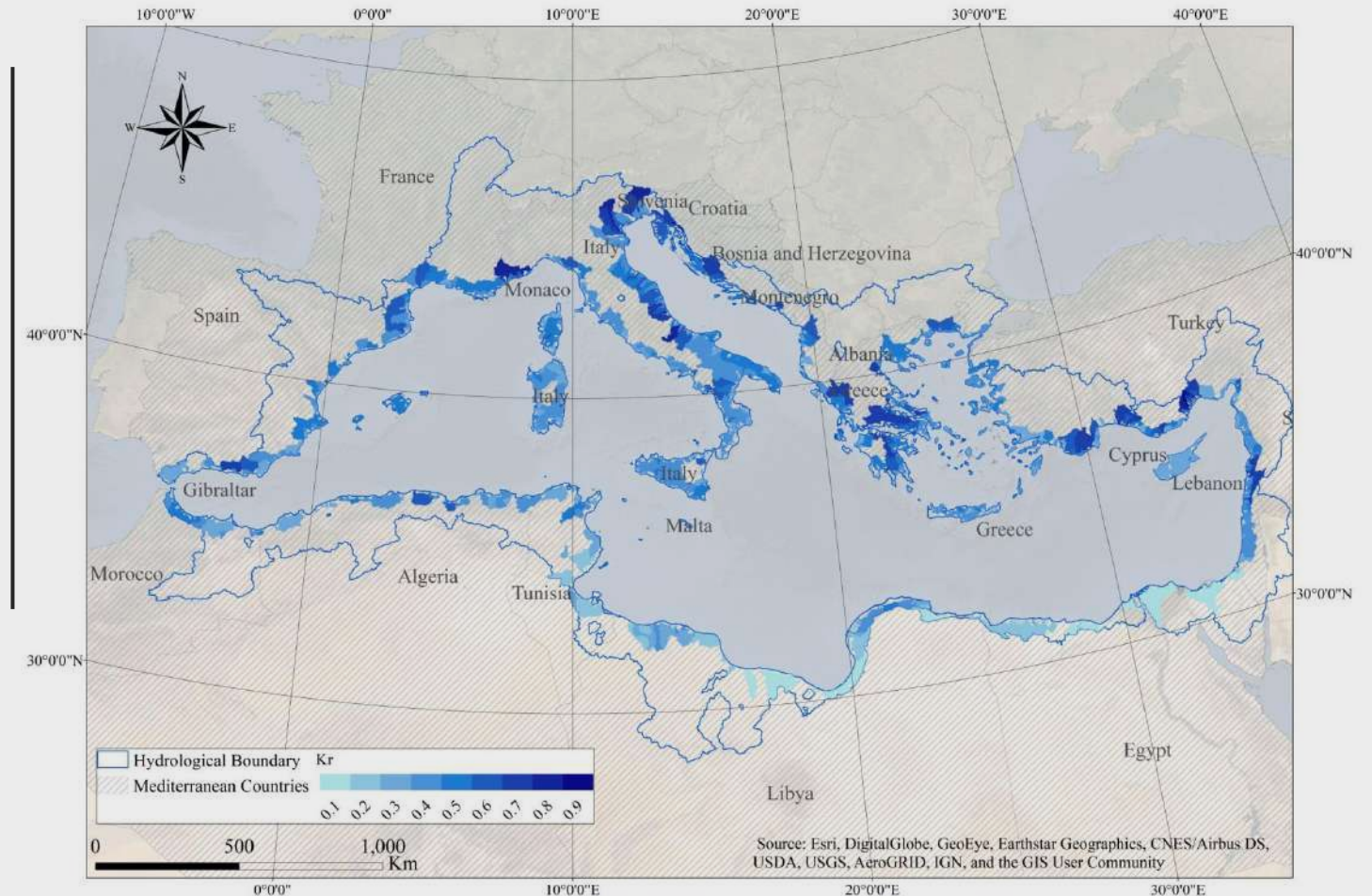
ALADIN RCP-4.5

$$K_r = 0.36 (+7\%)$$

$$K_u = 0.29 (+5\%)$$

$$\text{Max } K_r = 0.68 (-16\%)$$

$$\text{Max } K_u = 0.65 (-19\%)$$



III- EVOLUTION ET DEFIS

iii. Projection climatique

Coefficients d'écoulements

Les moyennes augmentent
Les extrêmes diminuent

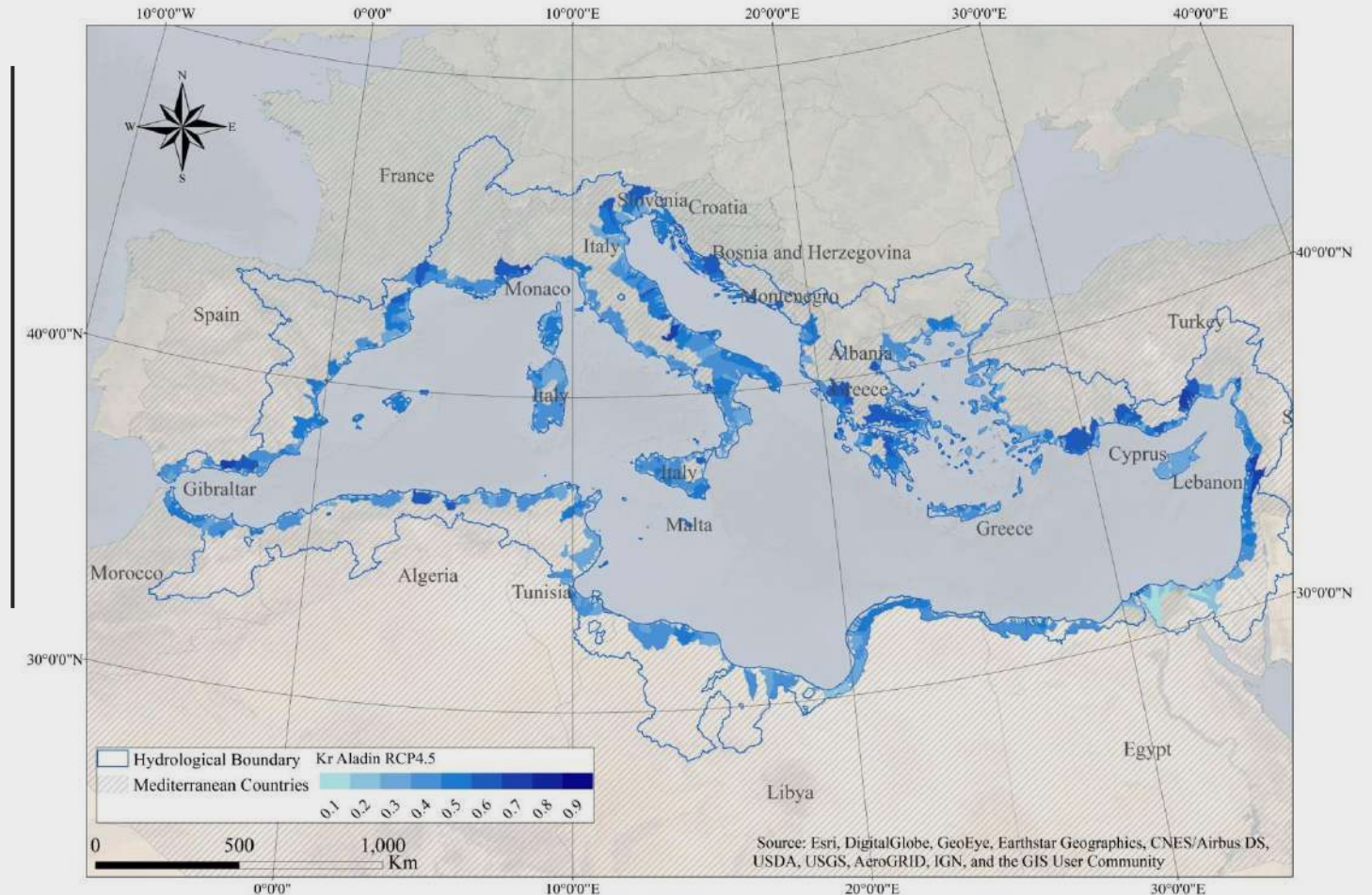
ALADIN RCP-4.5

$$K_r = 0.36 (+7\%)$$

$$K_u = 0.29 (+5\%)$$

$$\text{Max } K_r = 0.68 (-16\%)$$

$$\text{Max } K_u = 0.65 (-19\%)$$



III- EVOLUTION ET DEFIS

iii. Projection climatique

Coefficients d'écoulements

Les moyennes augmentent
Les extrêmes diminuent

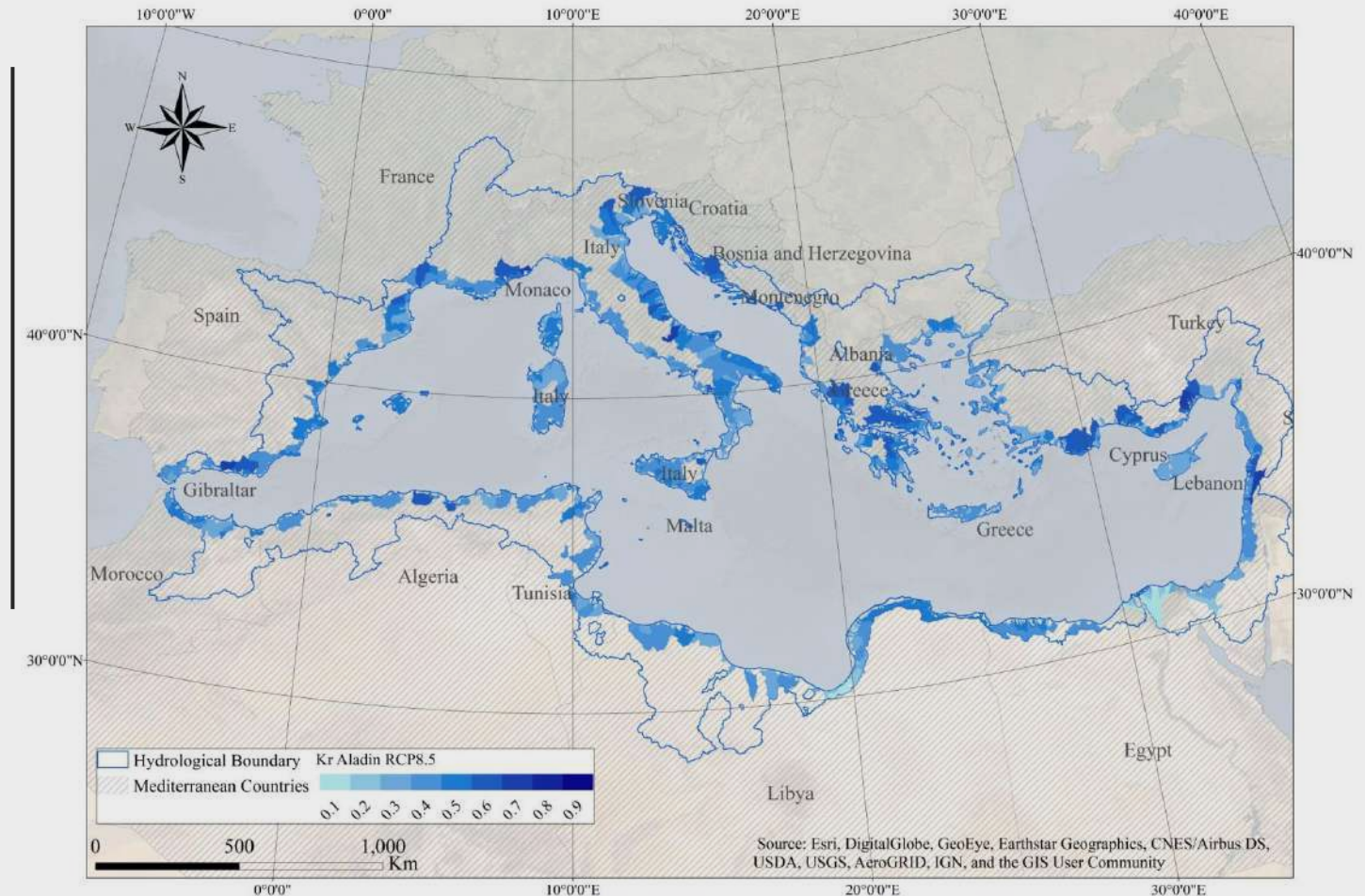
ALADIN RCP-4.5

$K_r = 0.36 (+7\%)$

$K_u = 0.29 (+5\%)$

Max $K_r = 0.68 (-16\%)$

Max $K_u = 0.65 (-19\%)$



III- EVOLUTION ET DEFIS

iii. Projection climatique

Coefficients d'écoulements

Les moyennes augmentent
Les extrêmes diminuent

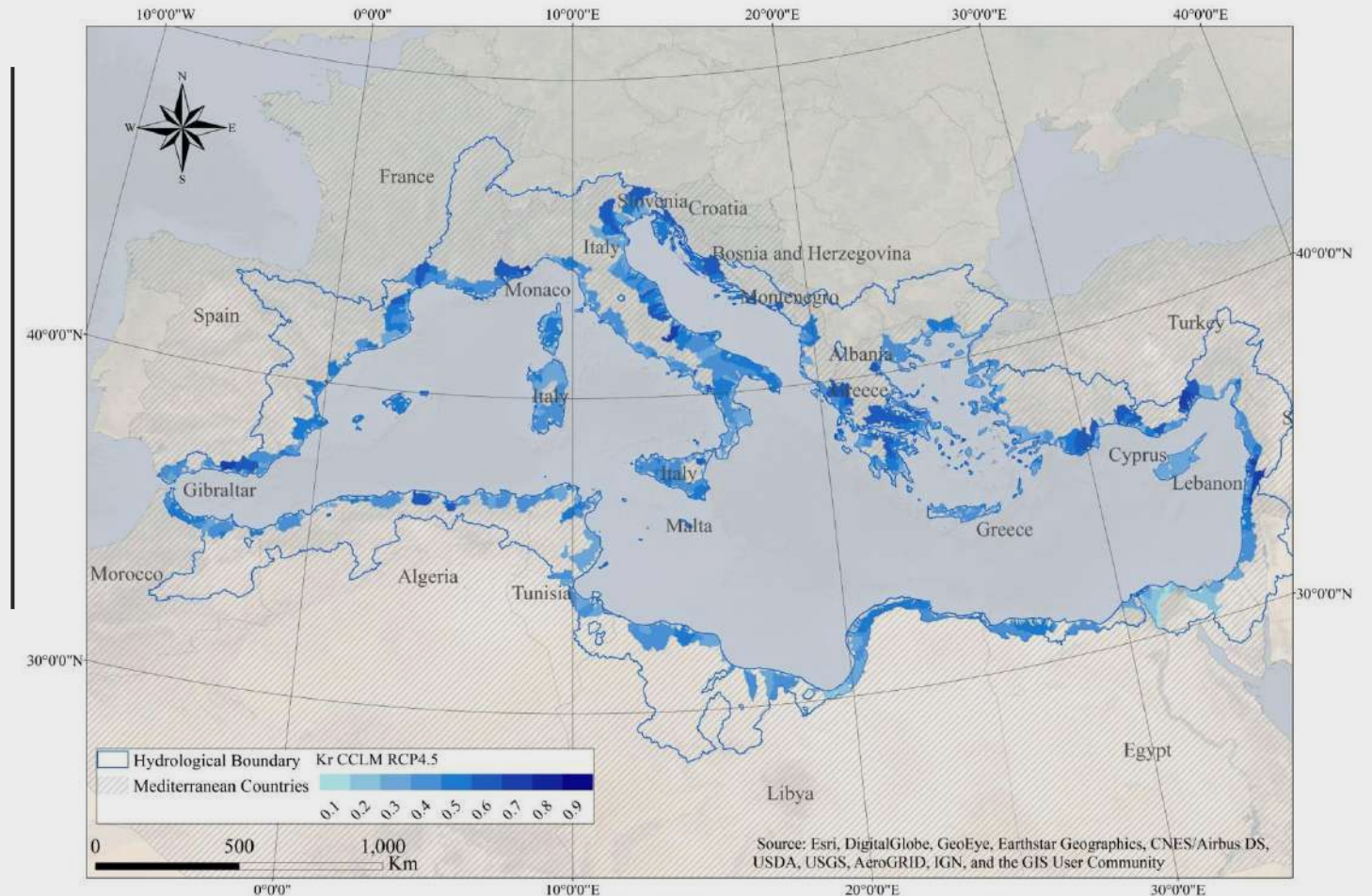
ALADIN RCP-4.5

$K_r = 0.36 (+7\%)$

$K_u = 0.29 (+5\%)$

Max $K_r = 0.68 (-16\%)$

Max $K_u = 0.65 (-19\%)$



III- EVOLUTION ET DEFIS

iii. Projection climatique

Coefficients d'écoulements

Les moyennes augmentent
Les extrêmes diminuent

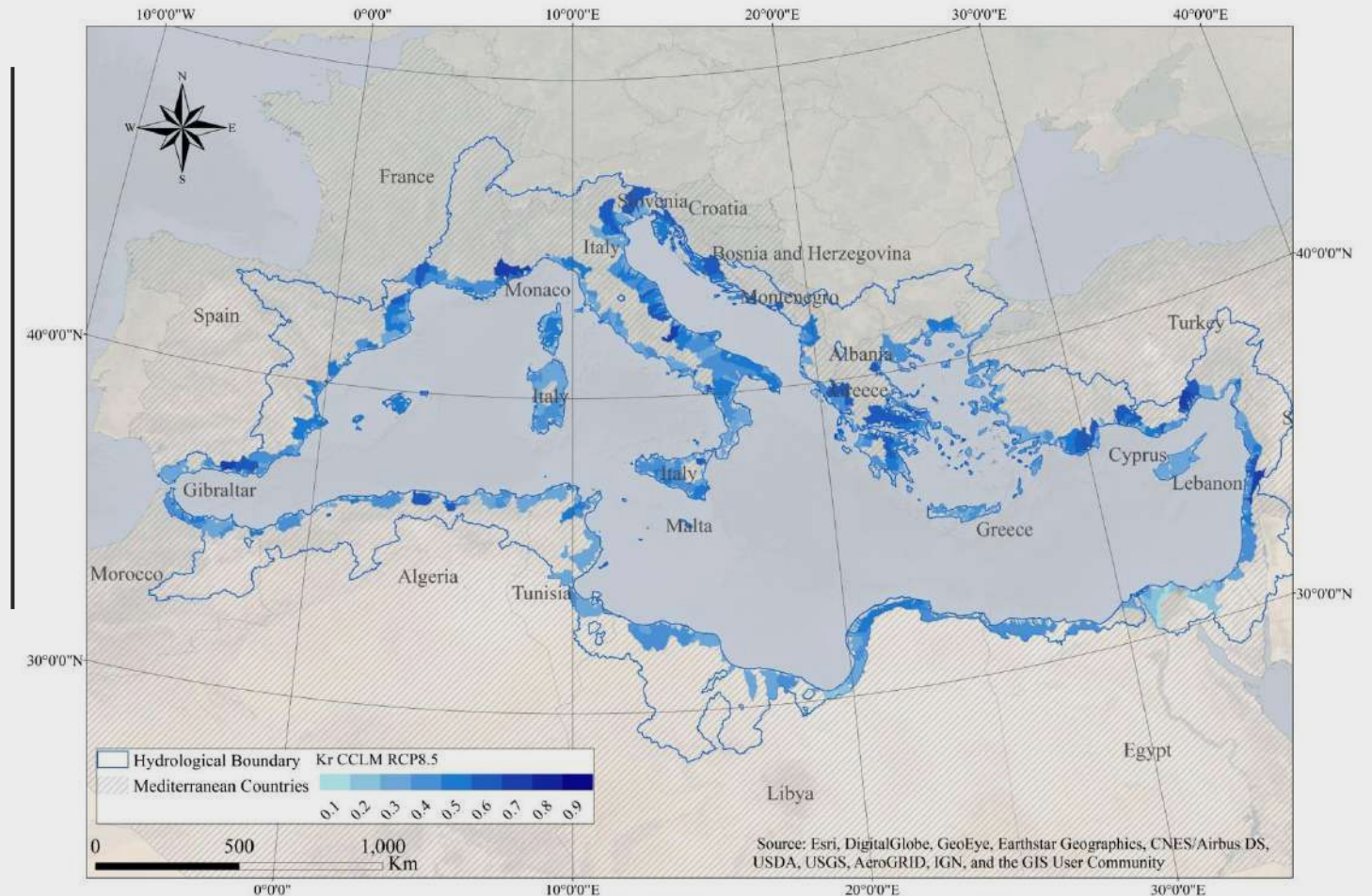
ALADIN RCP-4.5

$$K_r = 0.36 (+7\%)$$

$$K_u = 0.29 (+5\%)$$

$$\text{Max } K_r = 0.68 (-16\%)$$

$$\text{Max } K_u = 0.65 (-19\%)$$



III- EVOLUTION ET DEFIS

iii. Projection climatique

Evolution climatique

Précipitation

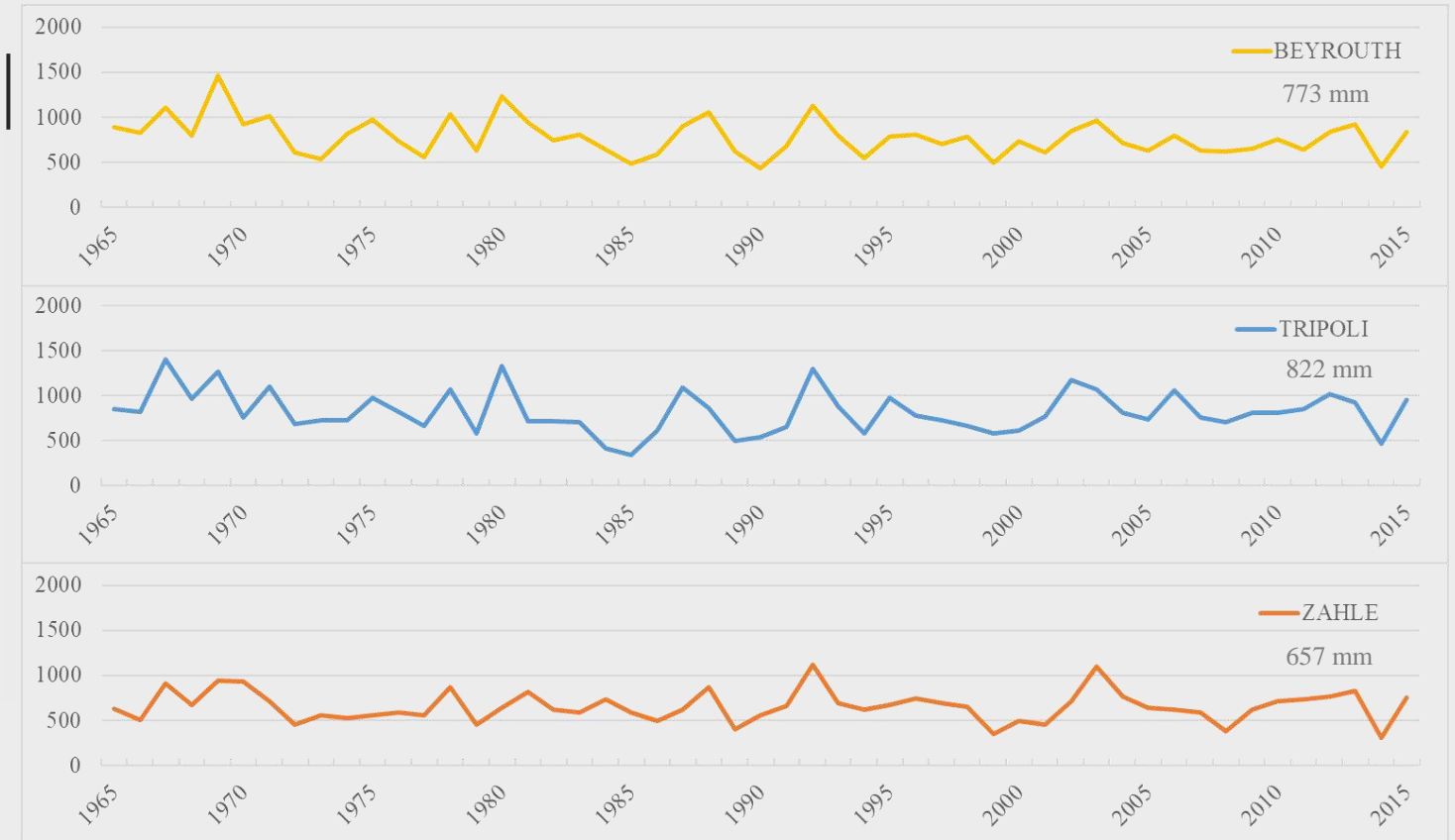
Aucune tendance depuis 50 ans

Température

Tendance croissante de +2°C

Neige

Atténuation de la surface de la couverture neigeuse de 30% et l'épaisseur de 50%



III- EVOLUTION ET DEFIS

iii. Projection climatique

Evolution climatique

Précipitation

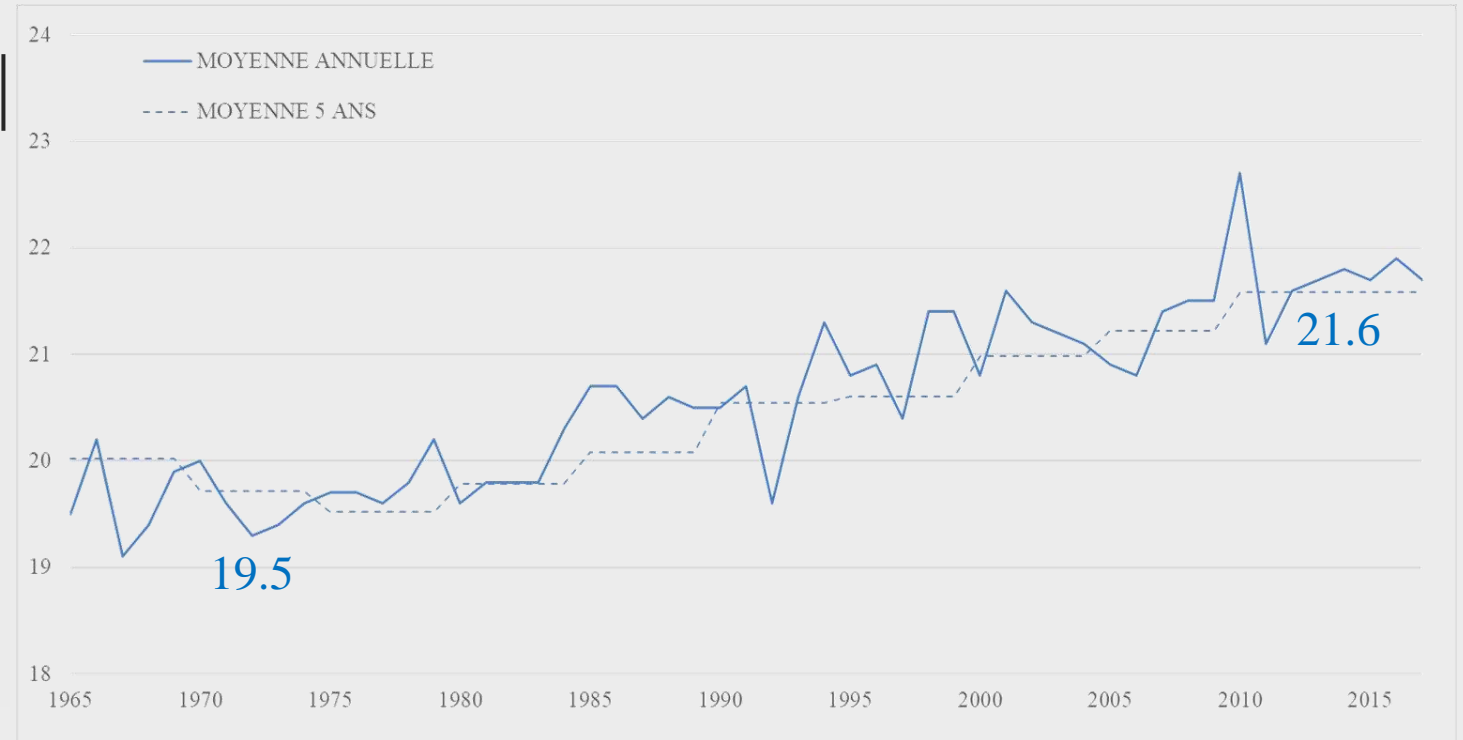
Aucune tendance depuis 50 ans

Température

Tendance croissante de +2°C

Neige

Atténuation de la surface de la couverture neigeuse de 30% et l'épaisseur de 50%

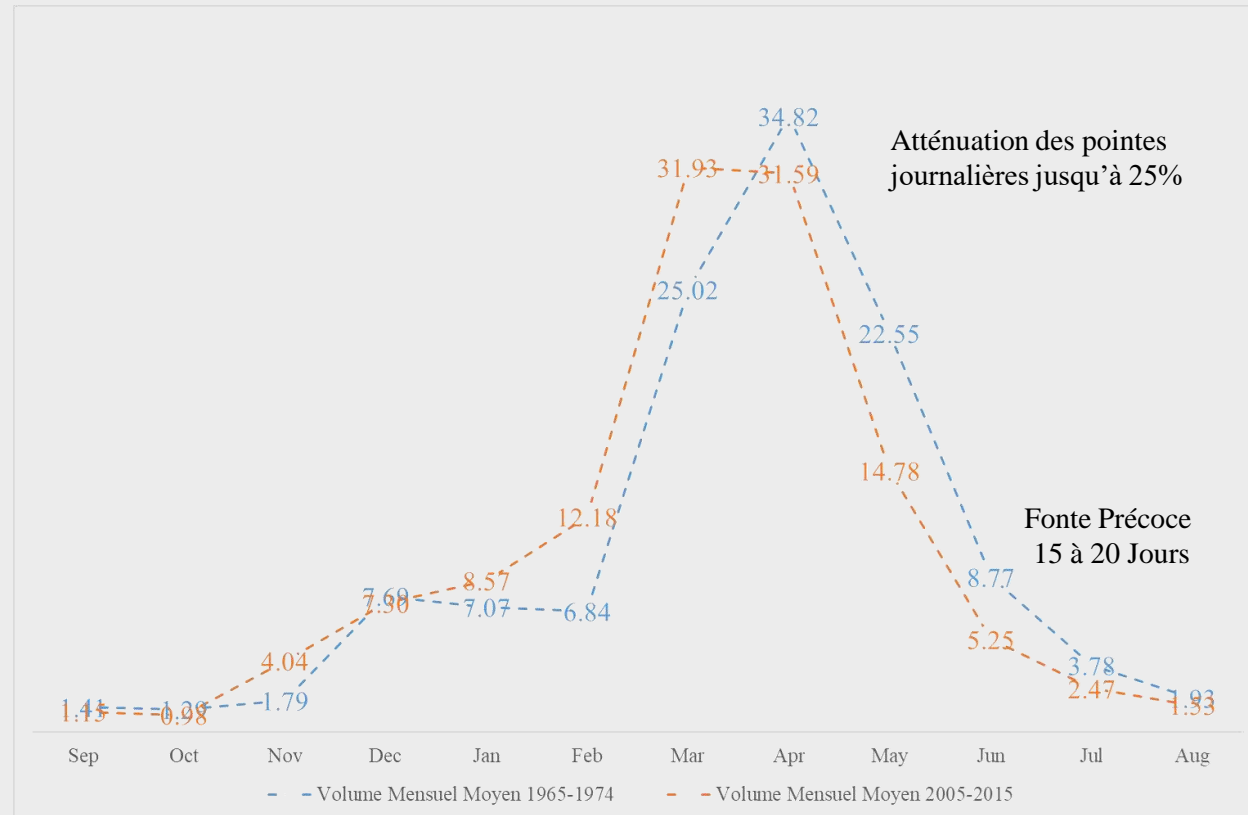


III- EVOLUTION ET DEFIS

iii. Projection climatique

Impact sur les ressources

Mois	Variation volume mensuel (Mm ³)	Taux de variation mensuel (%)
Sep	-0.3	-18%
Oct	-0.3	-24%
Nov	2.2	125%
Dec	-0.4	-5%
Jan	1.5	21%
Feb	5.3	78%
Mar	6.9	28%
Apr	-3.2	-9%
May	-7.8	-34%
Jun	-3.5	-40%
Jul	-1.3	-35%
Aug	-0.4	-21%
Année	-1.2	-1%



PLAN

- I. **HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS**
 - i. Frontières méditerranéennes
 - ii. Climat méditerranéen
 - iii. Paysage méditerranéen
 - iv. Régimes hydrologiques

- II. **DISTRIBUTION DES RESSOURCES**
 - i. Saisonnalité et aridité
 - ii. Homogénéité et variabilité des bassins

- III. **EVOLUTION ET DEFIS**
 - I. Anthropique
 - II. Naturelle
 - III. Projection climatique

- IV. **PERSPECTIVES SUR LA GESTION**
 - i. **Optimisation des stratégies nationales**
 - ii. **Stratégies de collaborations**

PERSPECTIVES

1. *Pour la gestion de la ressource en eau*

- Optimisation des stratégies nationales
- Mise au point de stratégies de collaboration entre les pays méditerranéens

CONCLUSION GENERALE

- Quelle contribution du climat et du paysage?
 - ✓ L'hydrologie méditerranéenne est conditionnée par deux degrés de forçages climatique et physiographique.
- Quels sont les bassins méditerranéens similaires?
 - ✓ Il existe une similarité générale due au climat, mais aussi spécifique à chaque classe physiographique, PC4.
- Est-ce que les ressources sont disponibles en Méditerranée?
 - ✓ Régionalisation des indices hydrologiques et coefficients d'écoulements.
- Quels impacts du changement climatique?
 - ✓ Tendence générale vers une aridification.
 - ✓ Evolution des régimes vers des débits hiver extrême.

MERCI