

**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

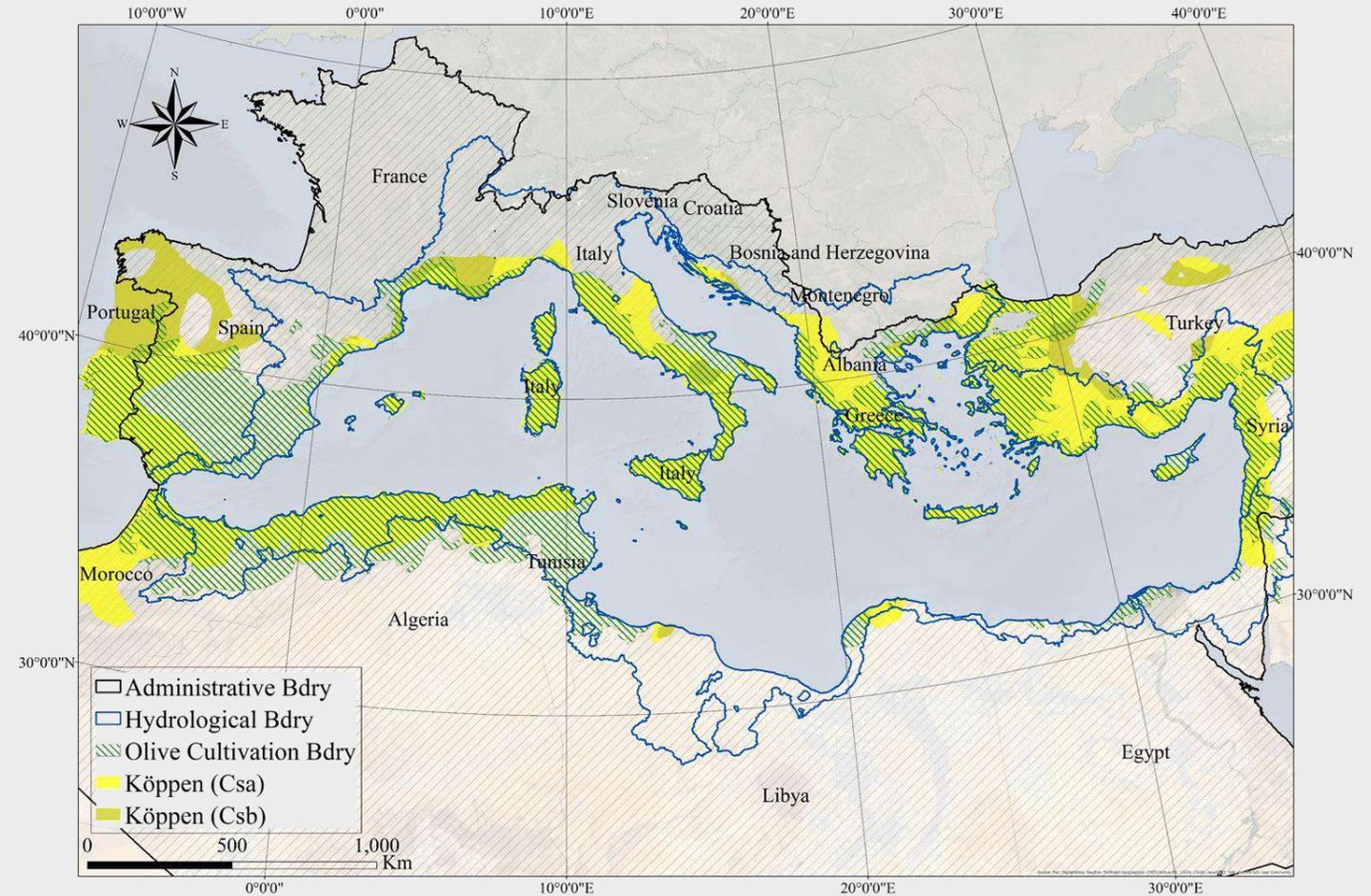
Espace : bassin moyen (100 à 3000 km<sup>2</sup>) ; Temps : saison, année, pluri-annuelle

- 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

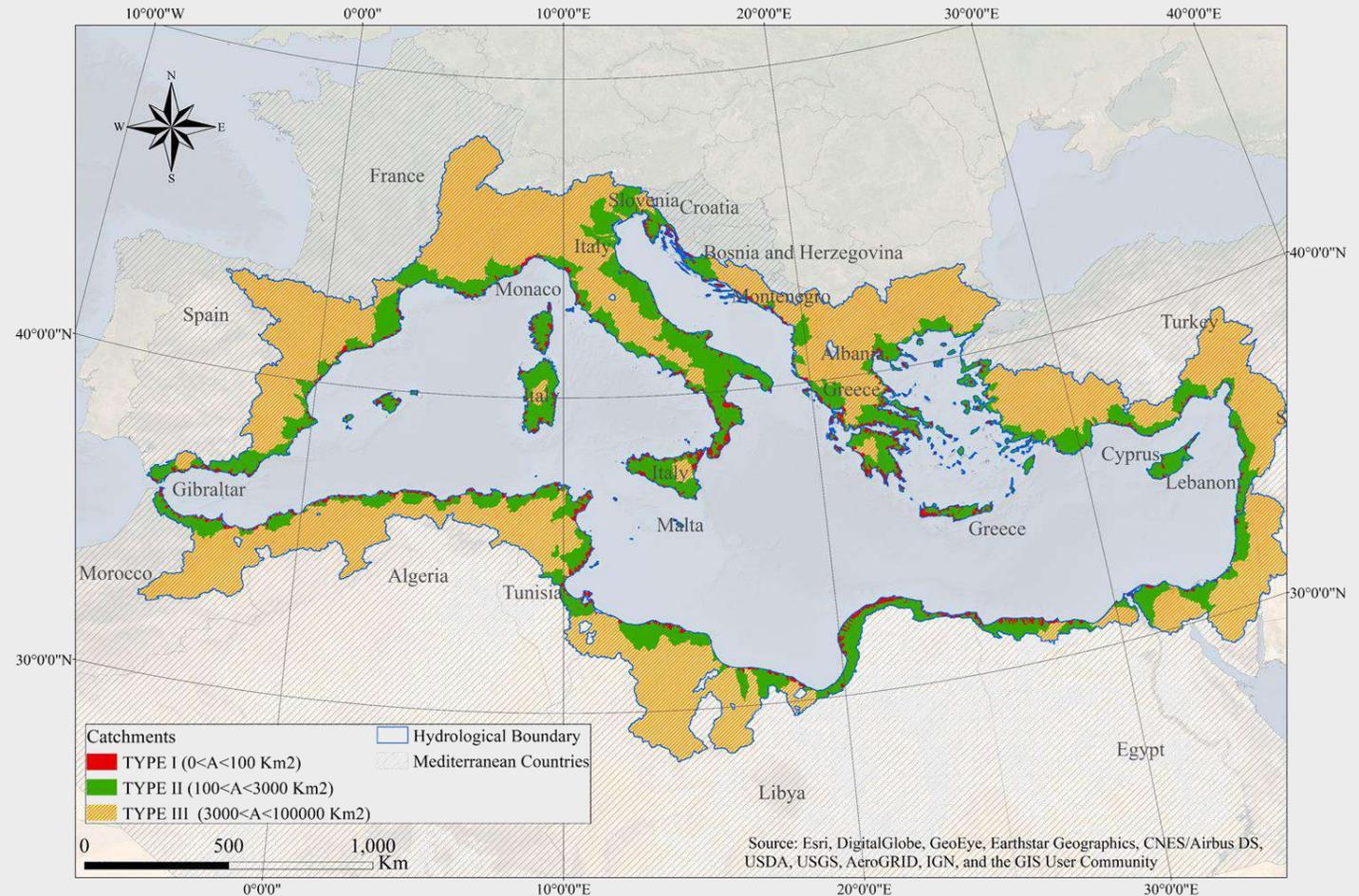


# I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

## i. Frontières

Bassins versants drainant vers la Méditerranée

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

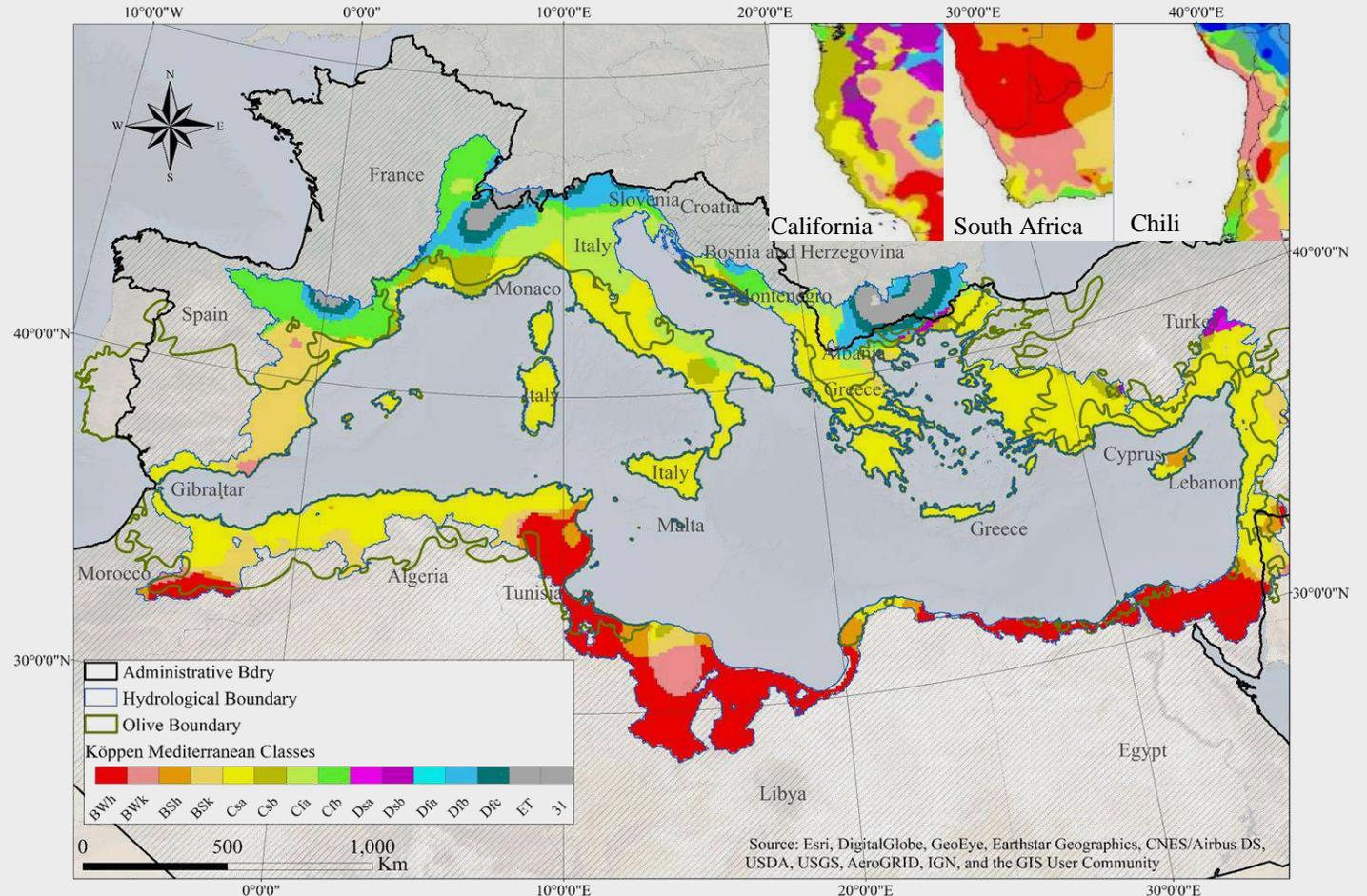
- Définitions et cartes des indices climatiques
  - Indice de saisonnalité  $I_s$
  - Indice d'aridité  $I_{Arid}$
- Classification K-moyennes en 5 classes climatiques
- Projection de la classification avec les modèles régionaux climatiques RCM ALADIN et CCLM simulées suivant les scénarios RCP 4.5 et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

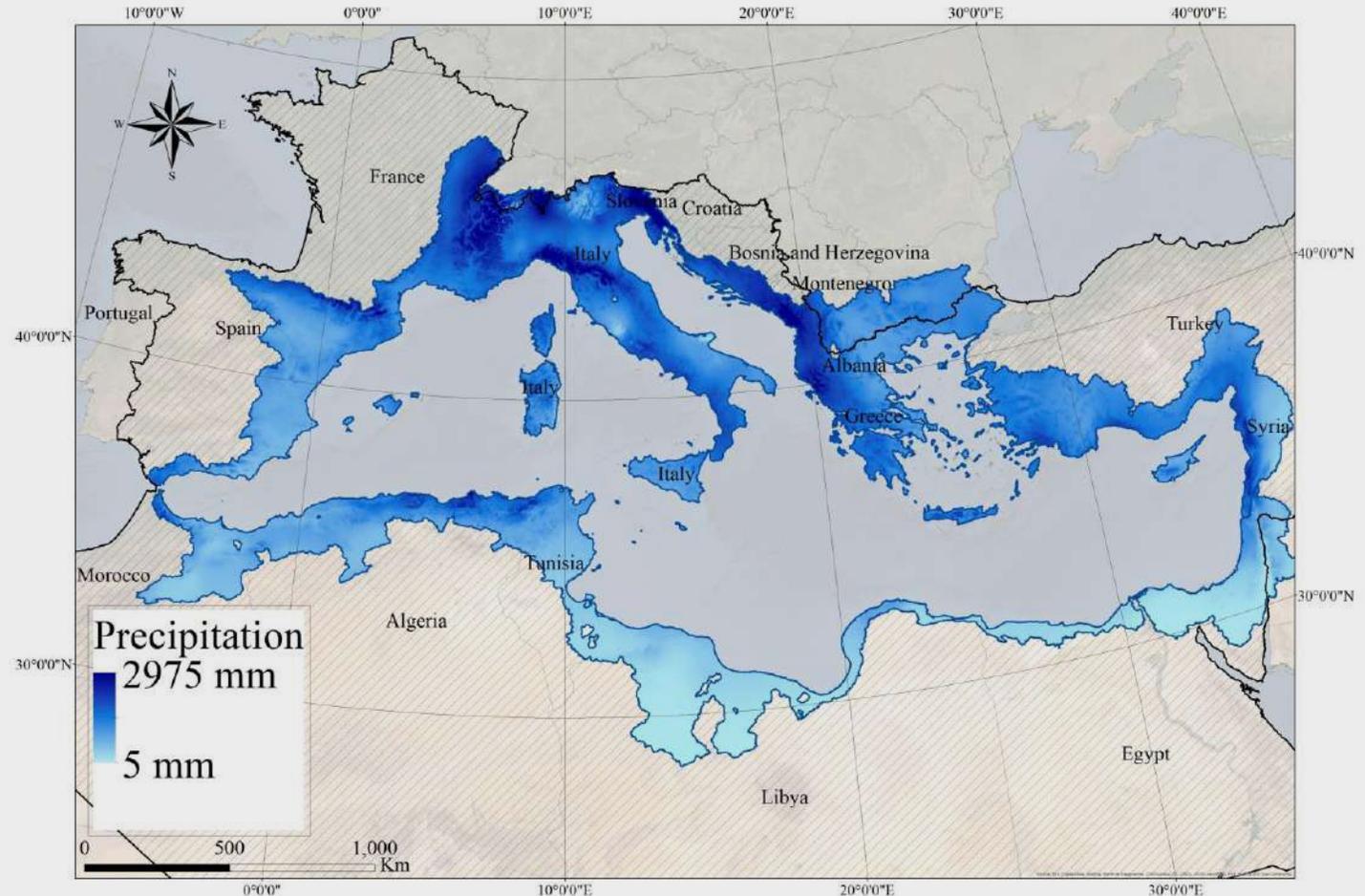


# I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

## 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

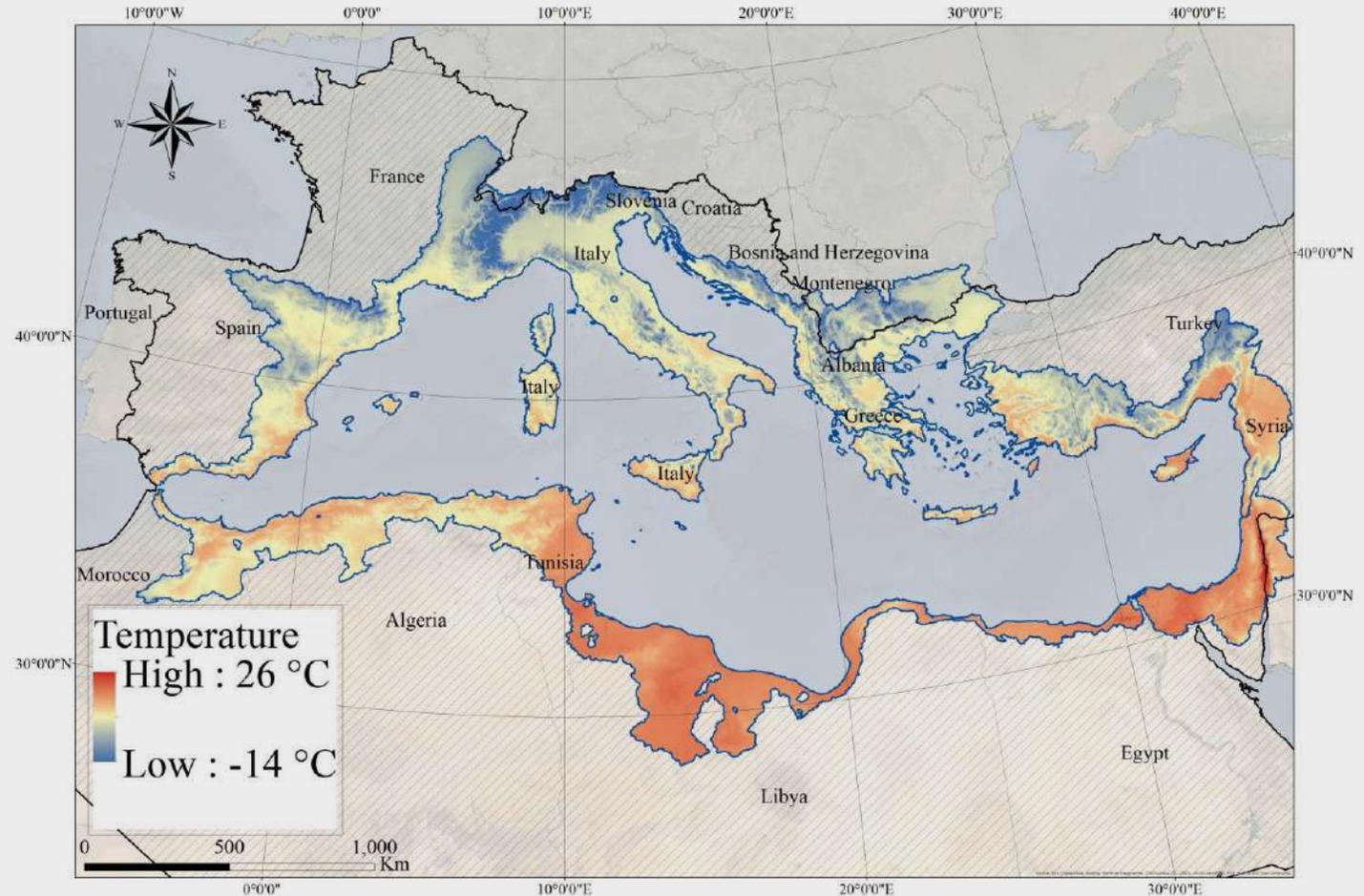


# I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

## 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

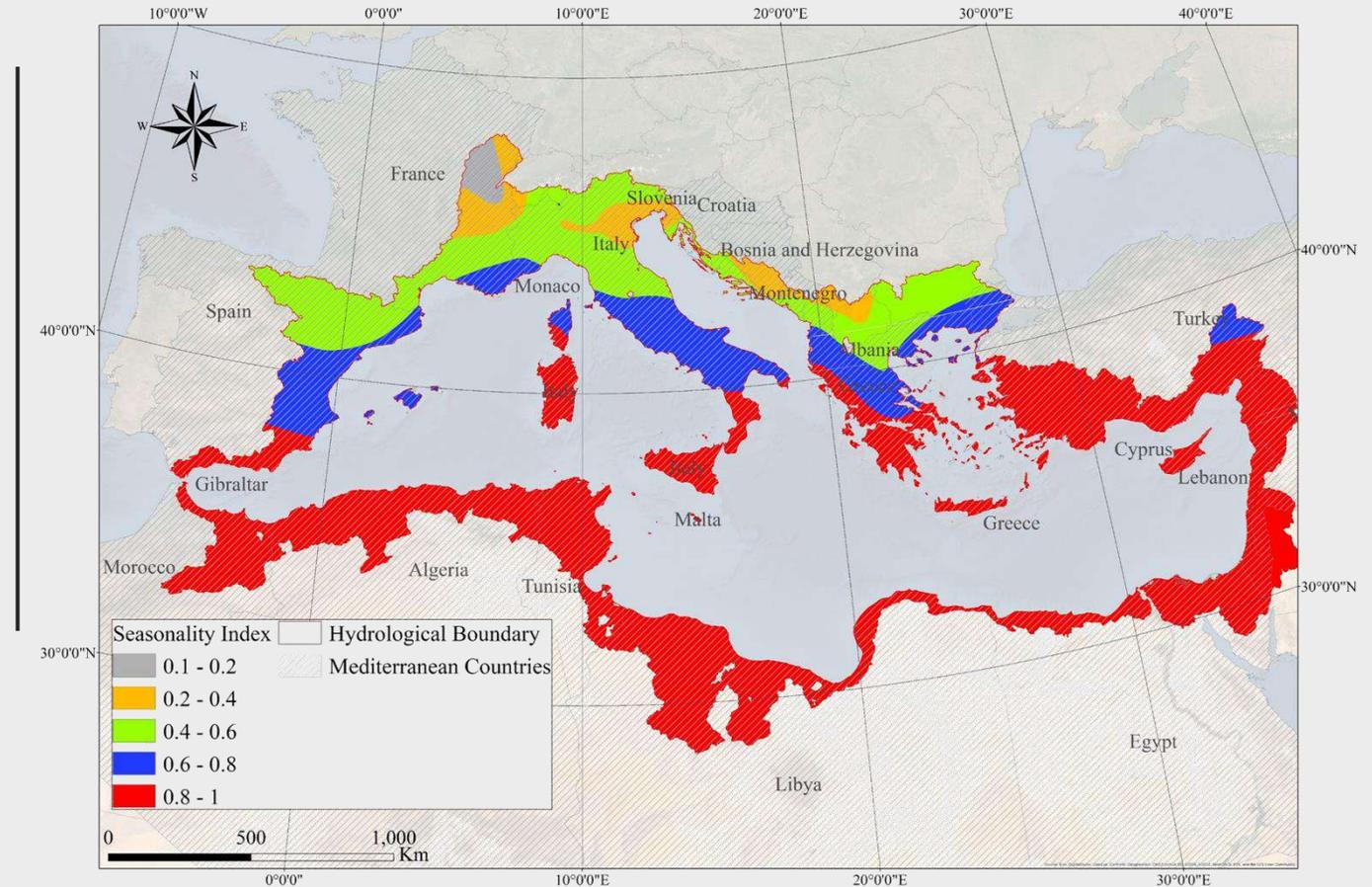
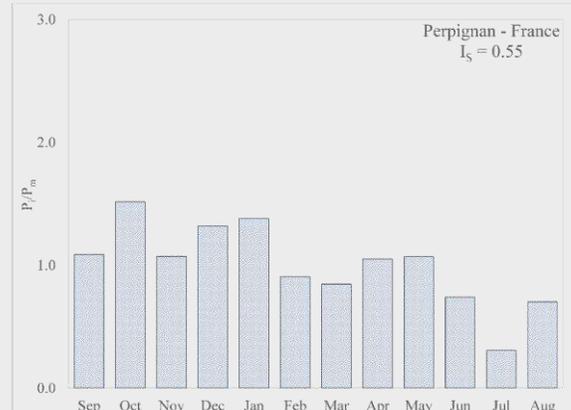
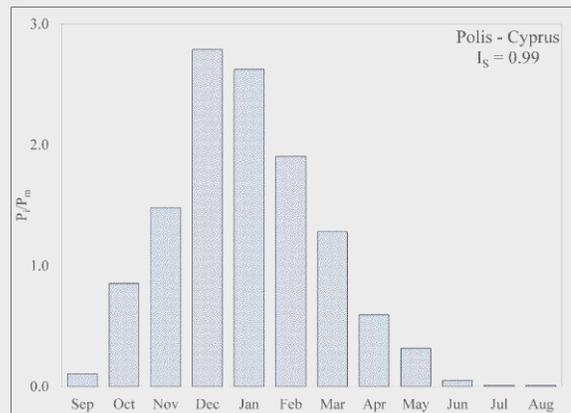


# I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

## ii. Climat méditerranéen

Indice de saisonnalité

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



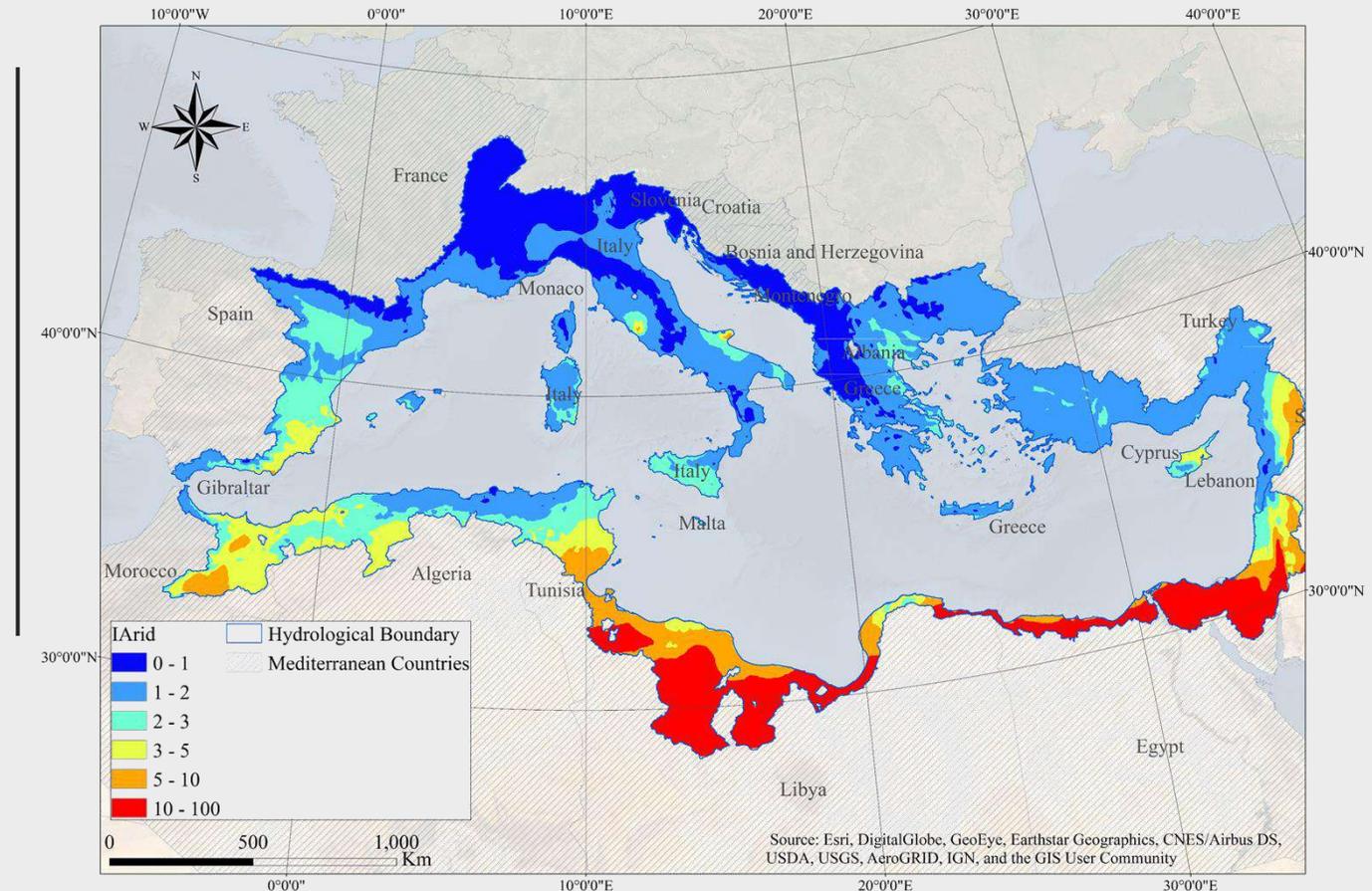
# I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

## ii. Climat méditerranéen

### Indice d'aridité

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

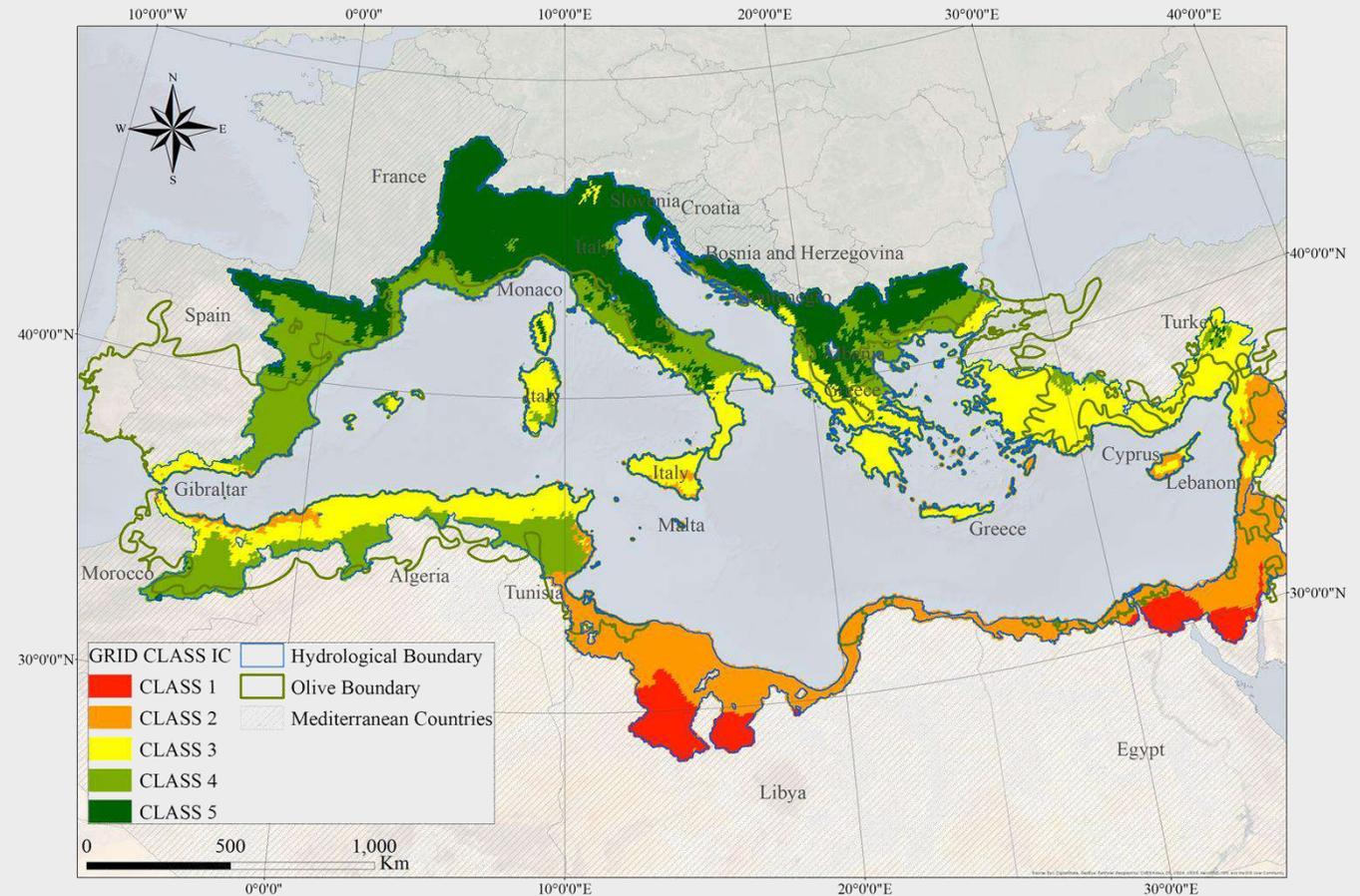
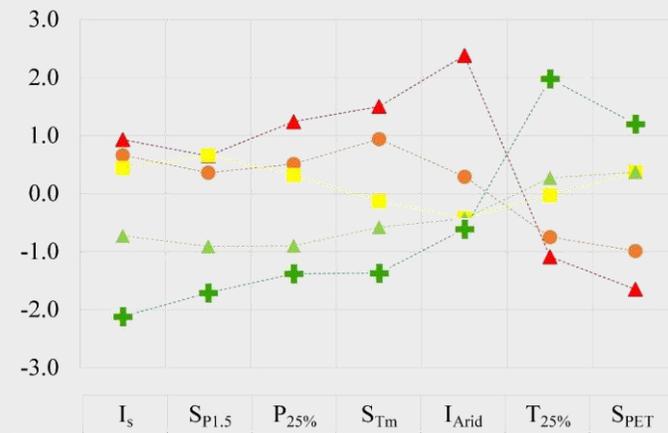
Distribution quasi-uniforme du Sud vers le Nord



# 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

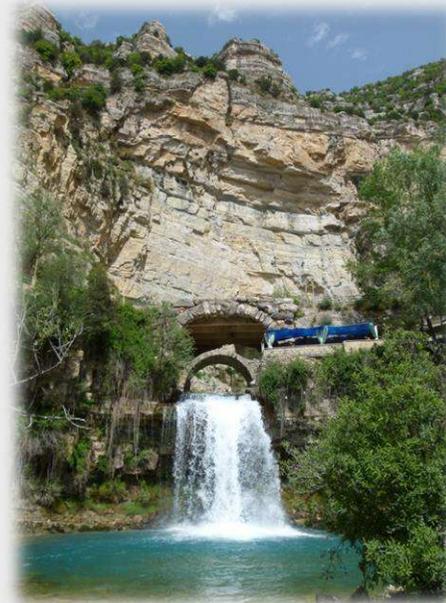
Mettre en évidence la diversité des bassins méditerranéens

- 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, ...)

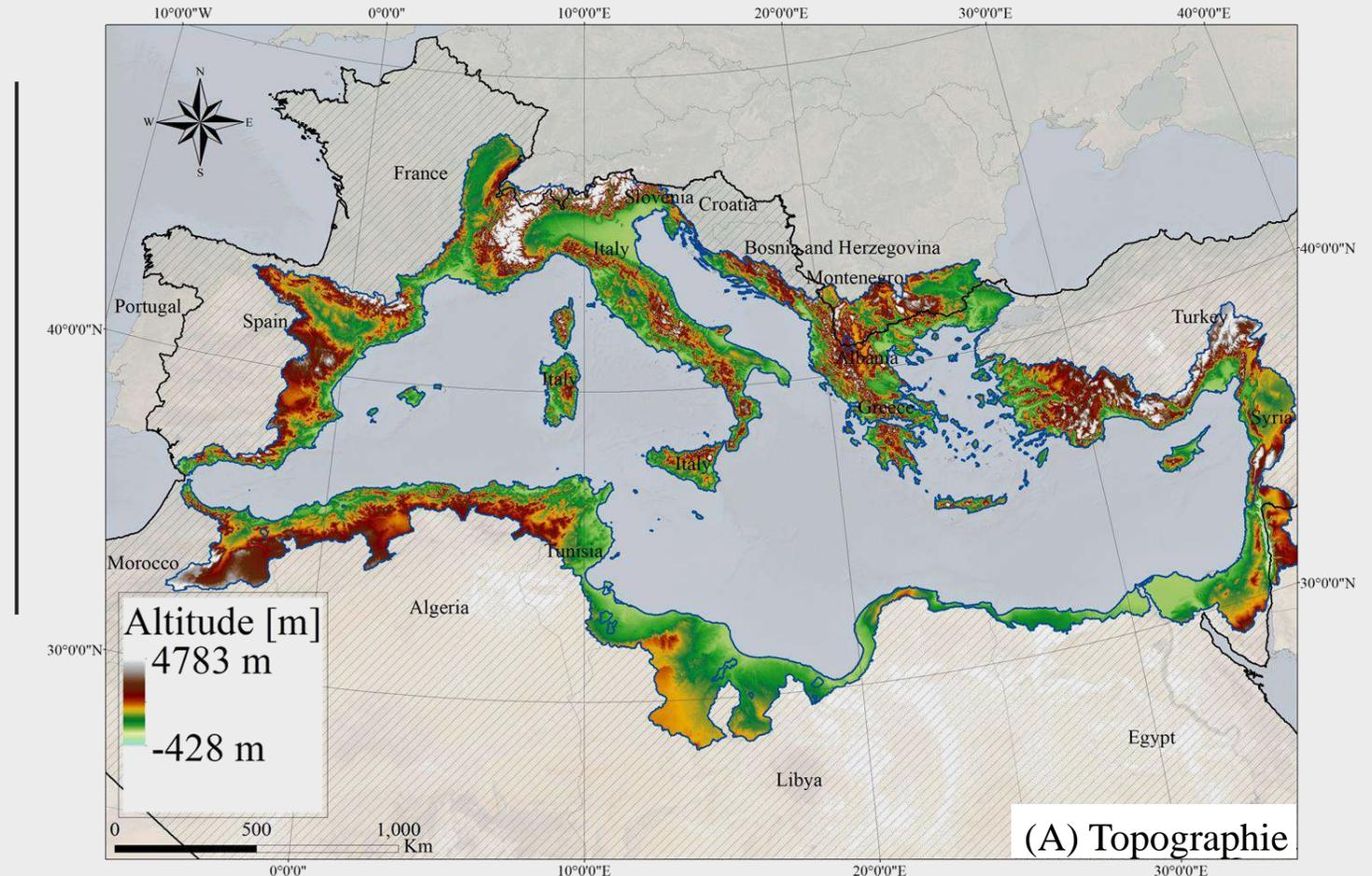


# I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

## 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)

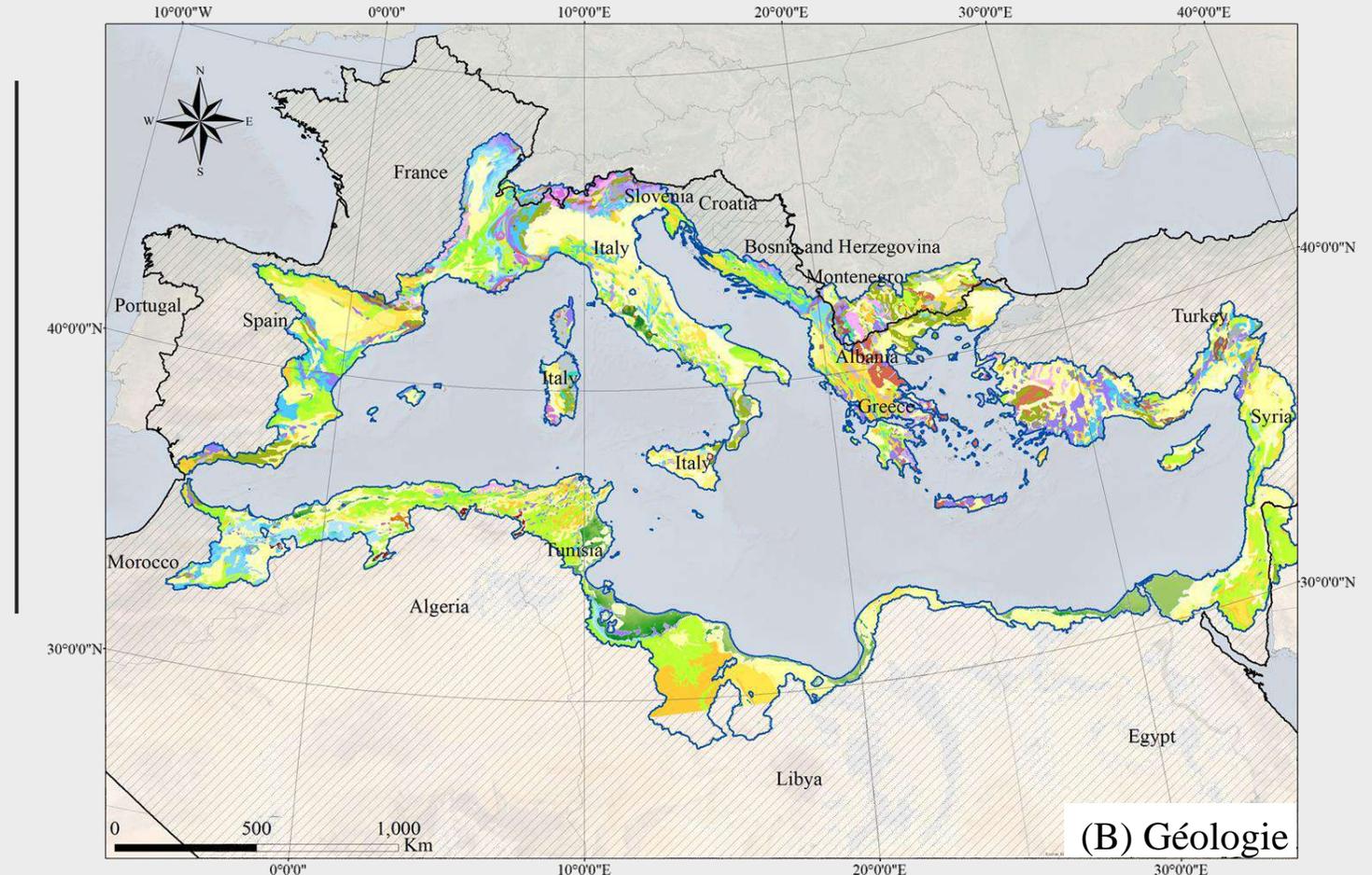


# I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

## 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)

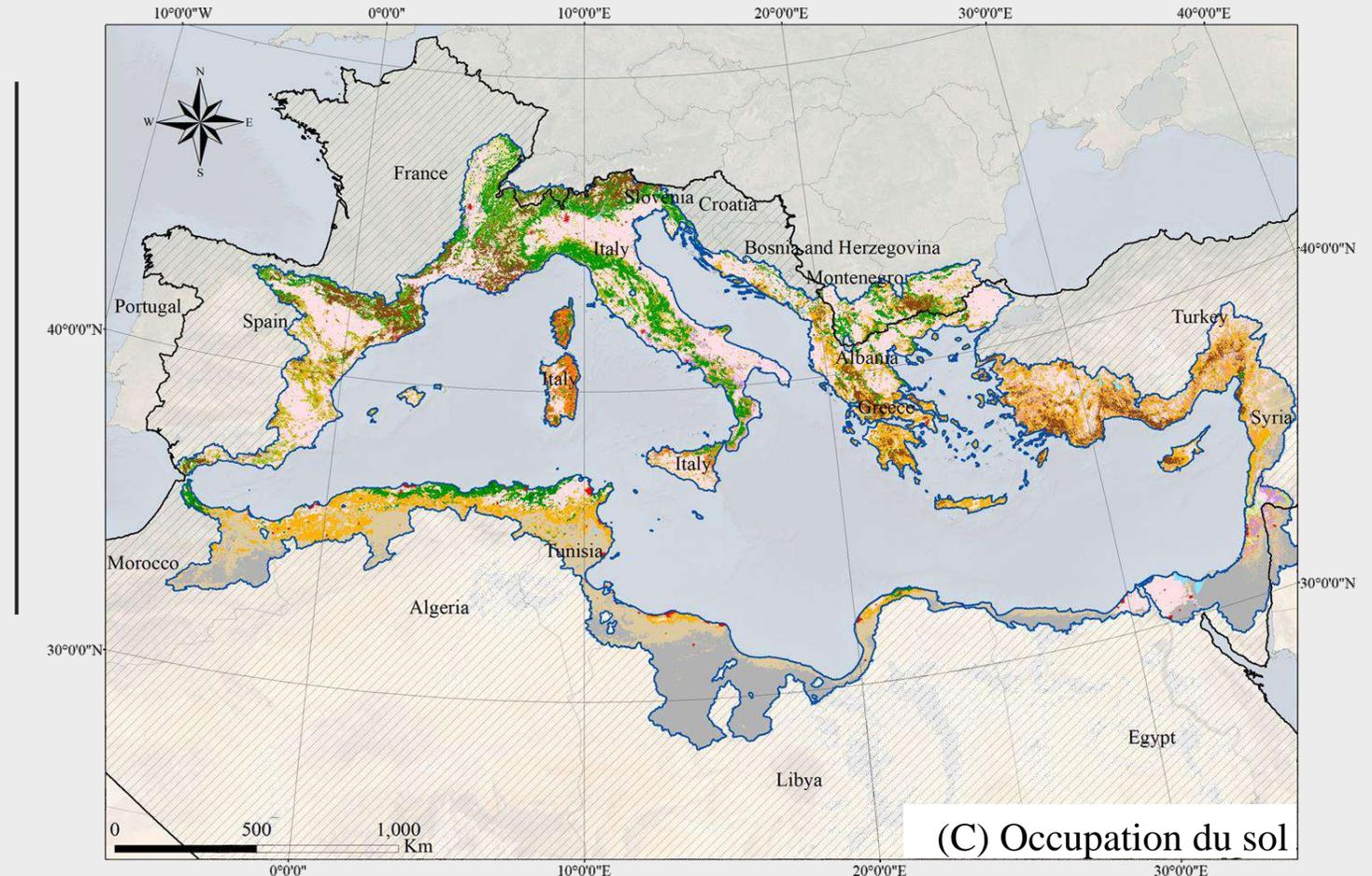


# I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

## 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)

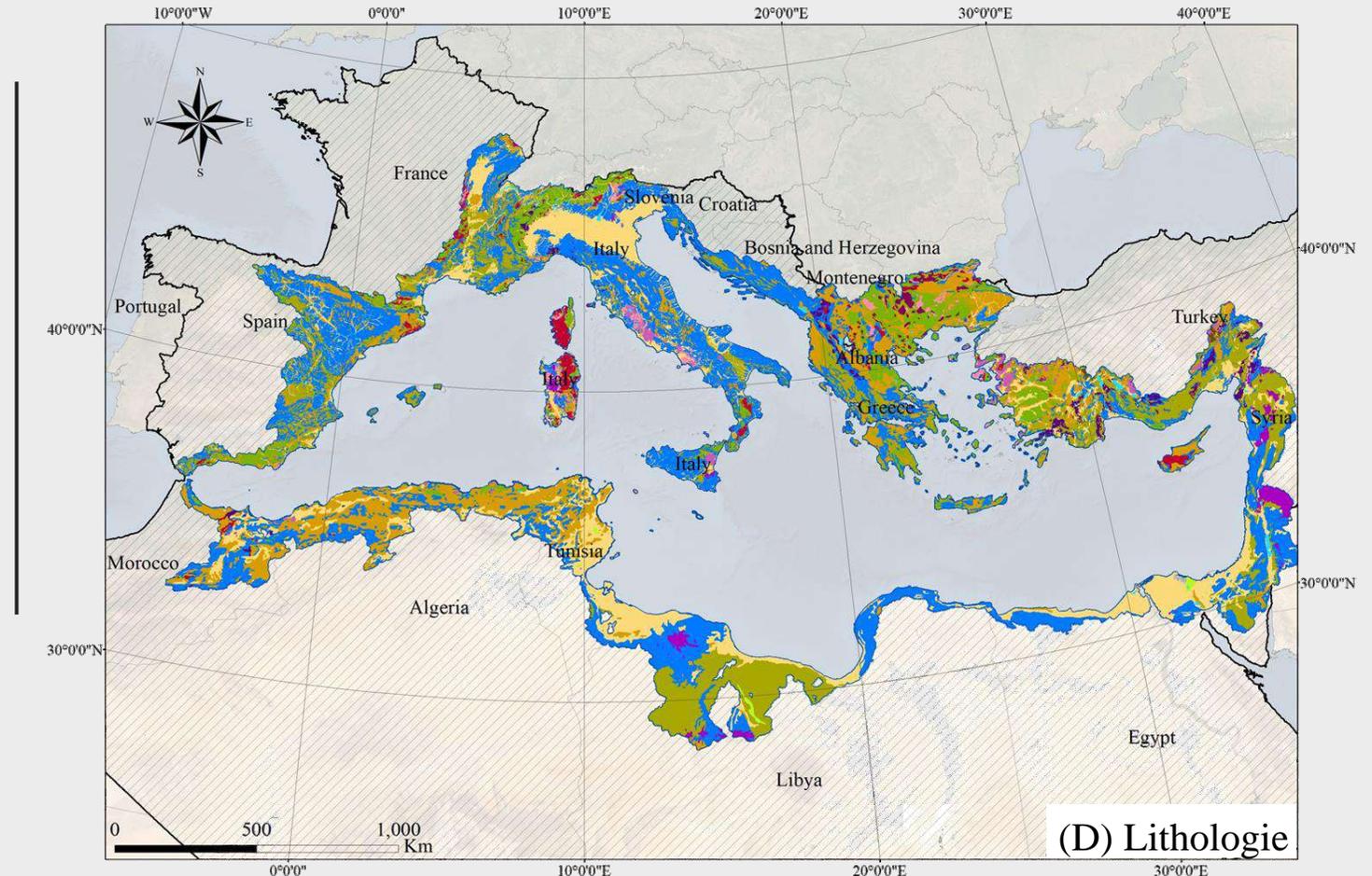


# I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

## 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)

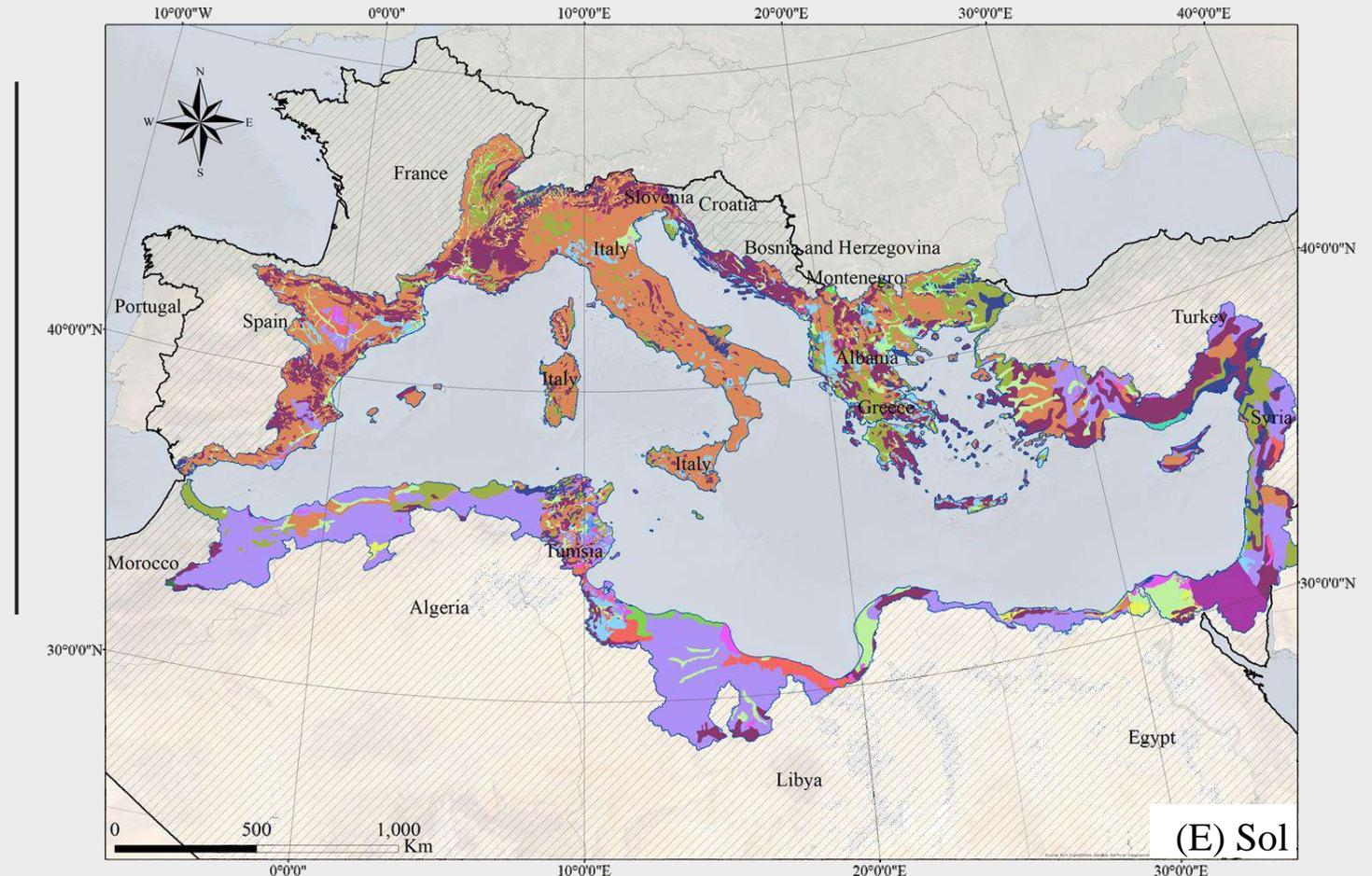


# I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

## 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)

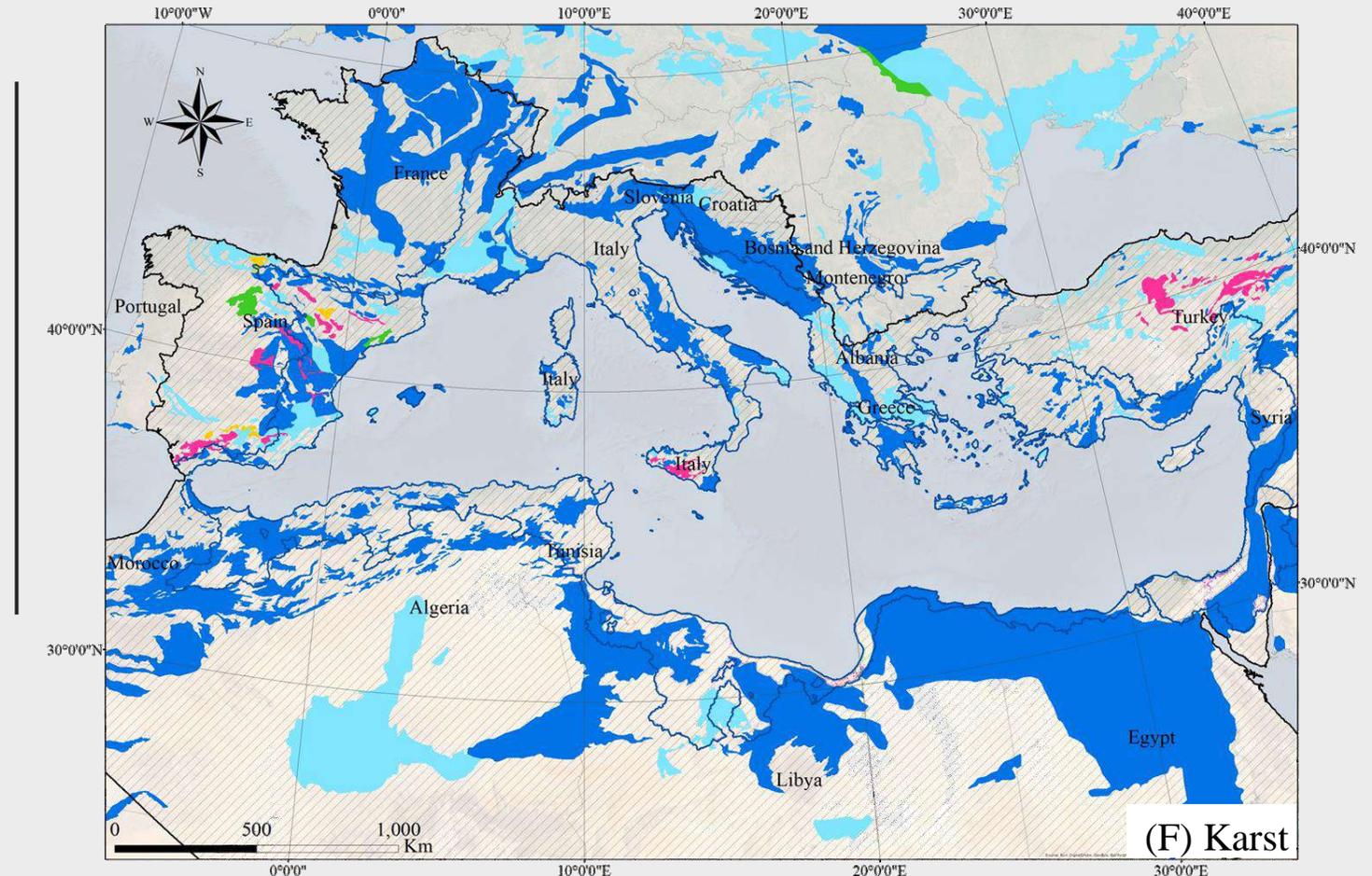


# I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

## 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)

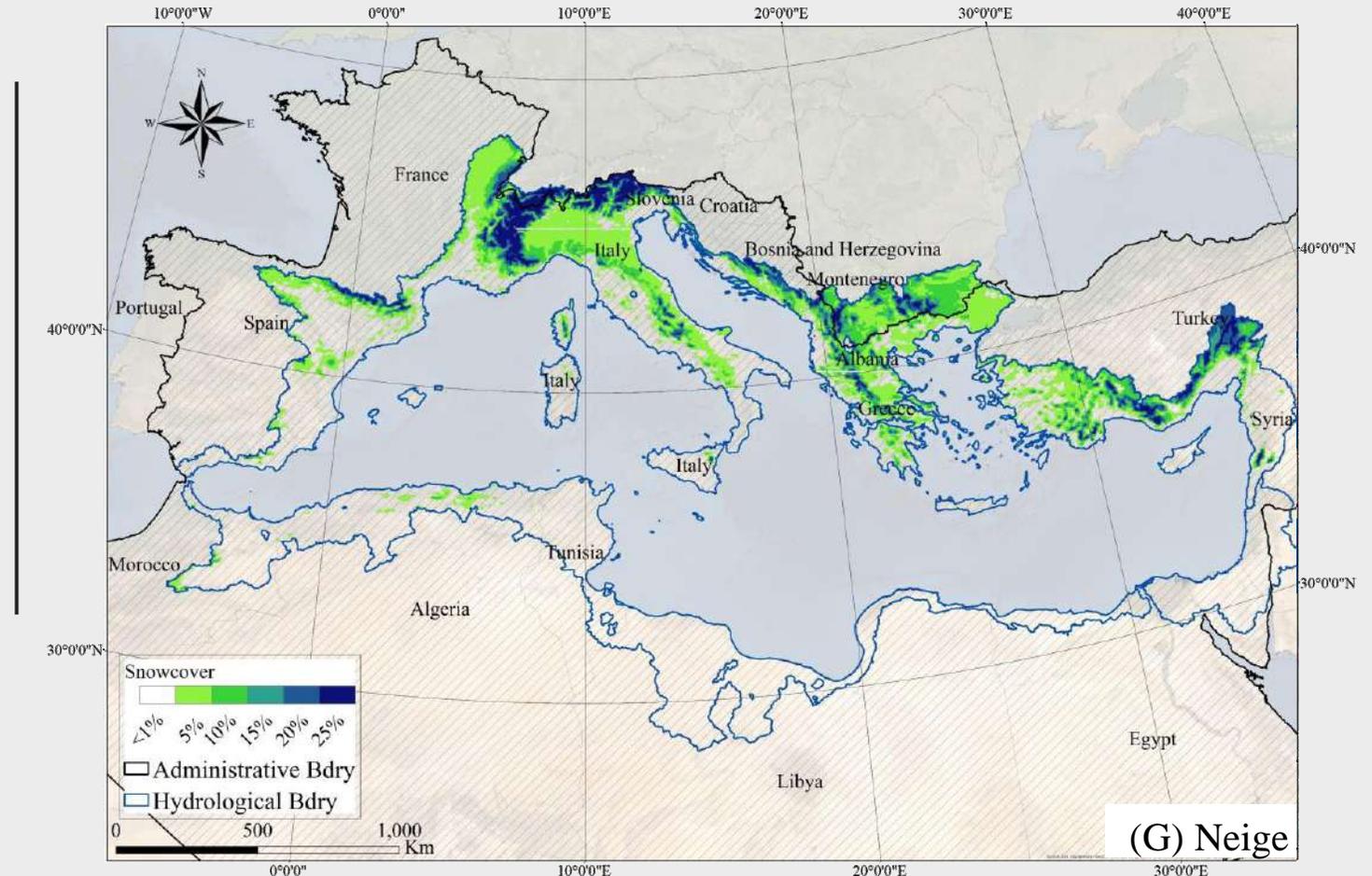


# I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

## 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

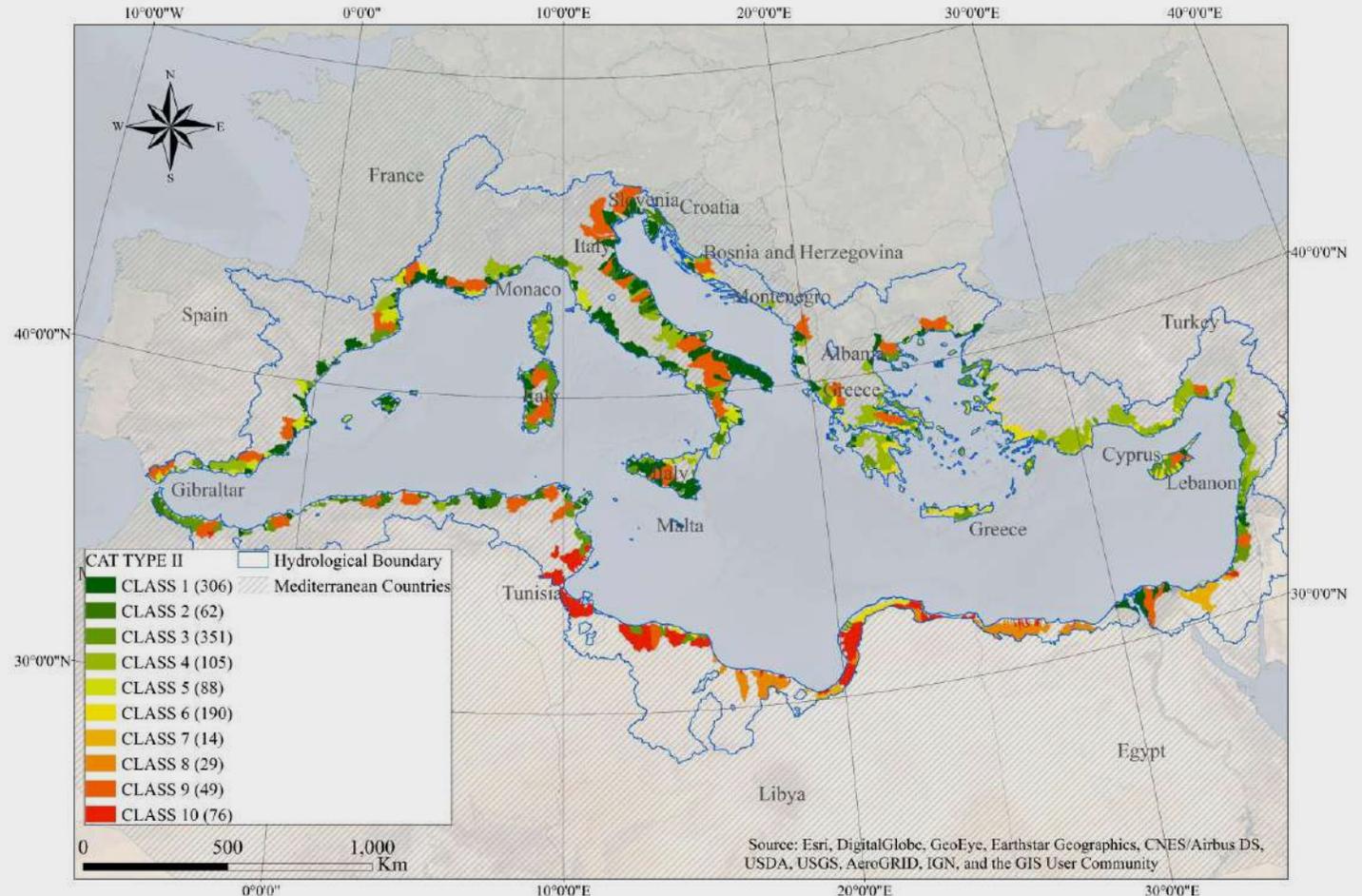
## iii. Paysage méditerranéen

CLASSE	No	REGION	DESCRIPTION	A (km <sup>2</sup> )	Z <sub>Mean</sub> (m)	ZS <sub>Mean</sub> (m)	P <sub>KARST</sub> (%)	T <sub>AWC</sub> (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%

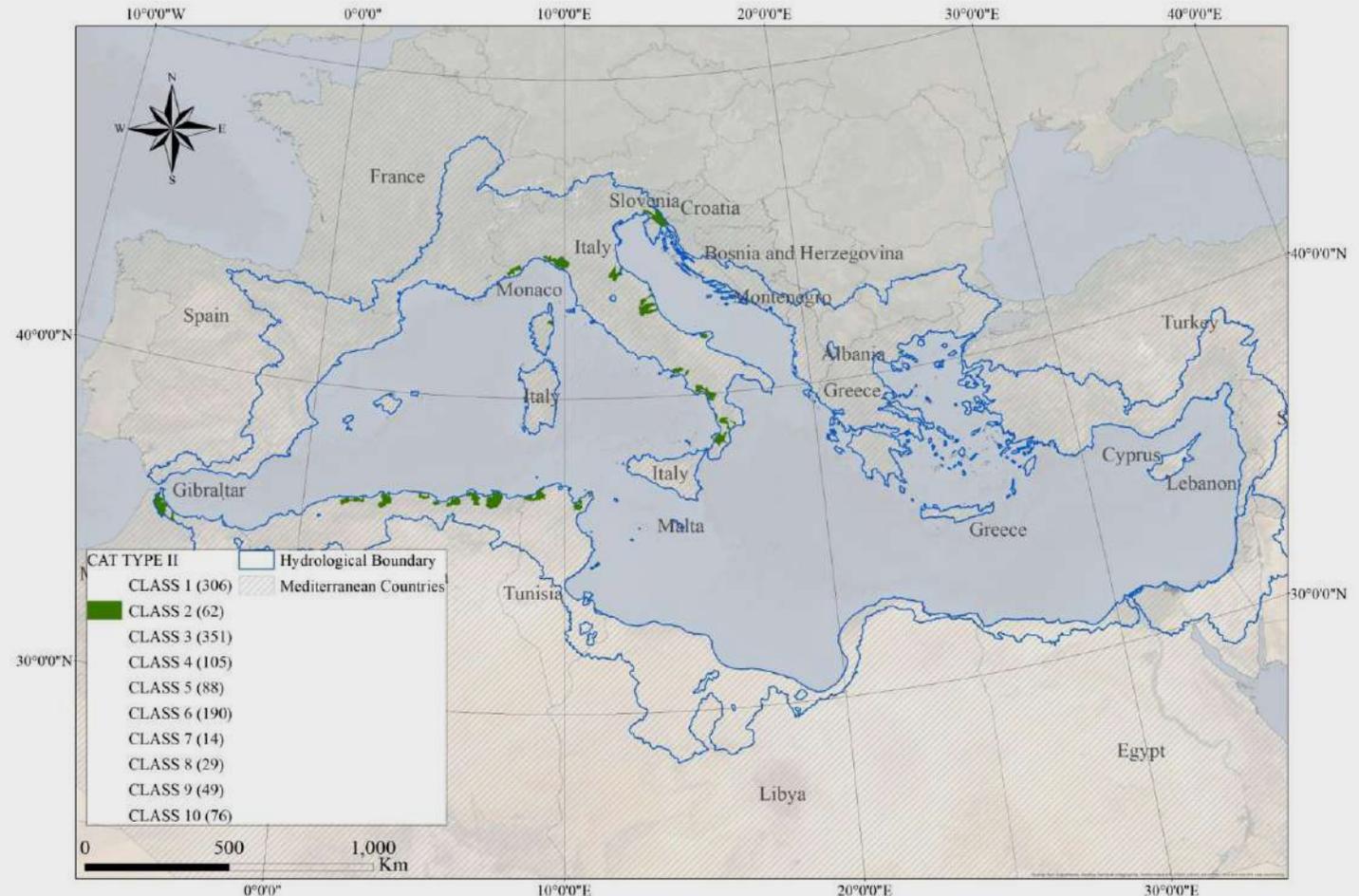


# I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

## iii. Paysage méditerranéen

Classe 2: Bassins forestiers à arbres feuillus

Présence dominante au Sud-Ouest et l'Italie

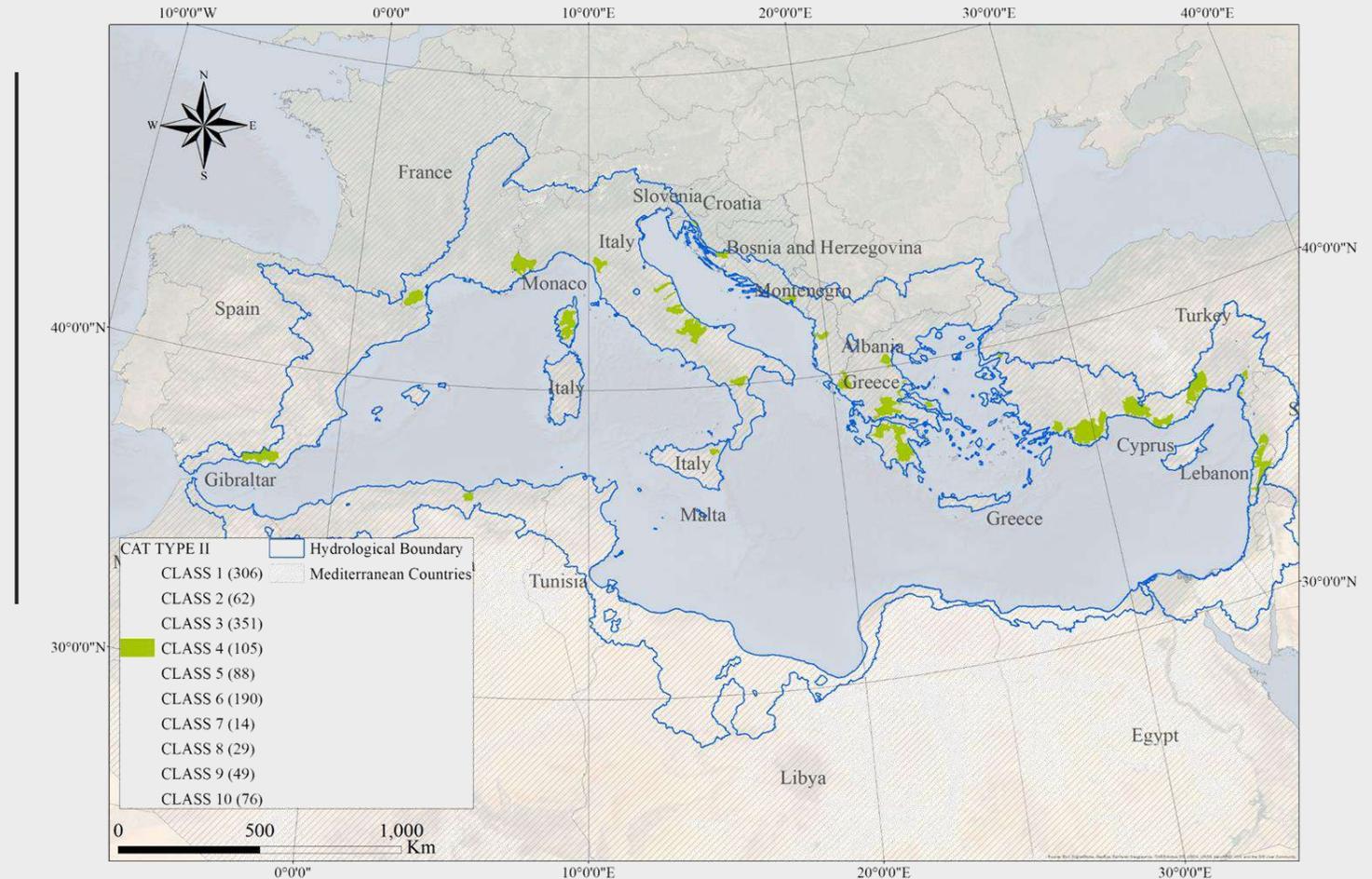


# I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

## iii. Paysage méditerranéen

Classe 4: Bassins montagneux karstiques à influence neigeuse

Présence dominante au Nord et au Mont Liban

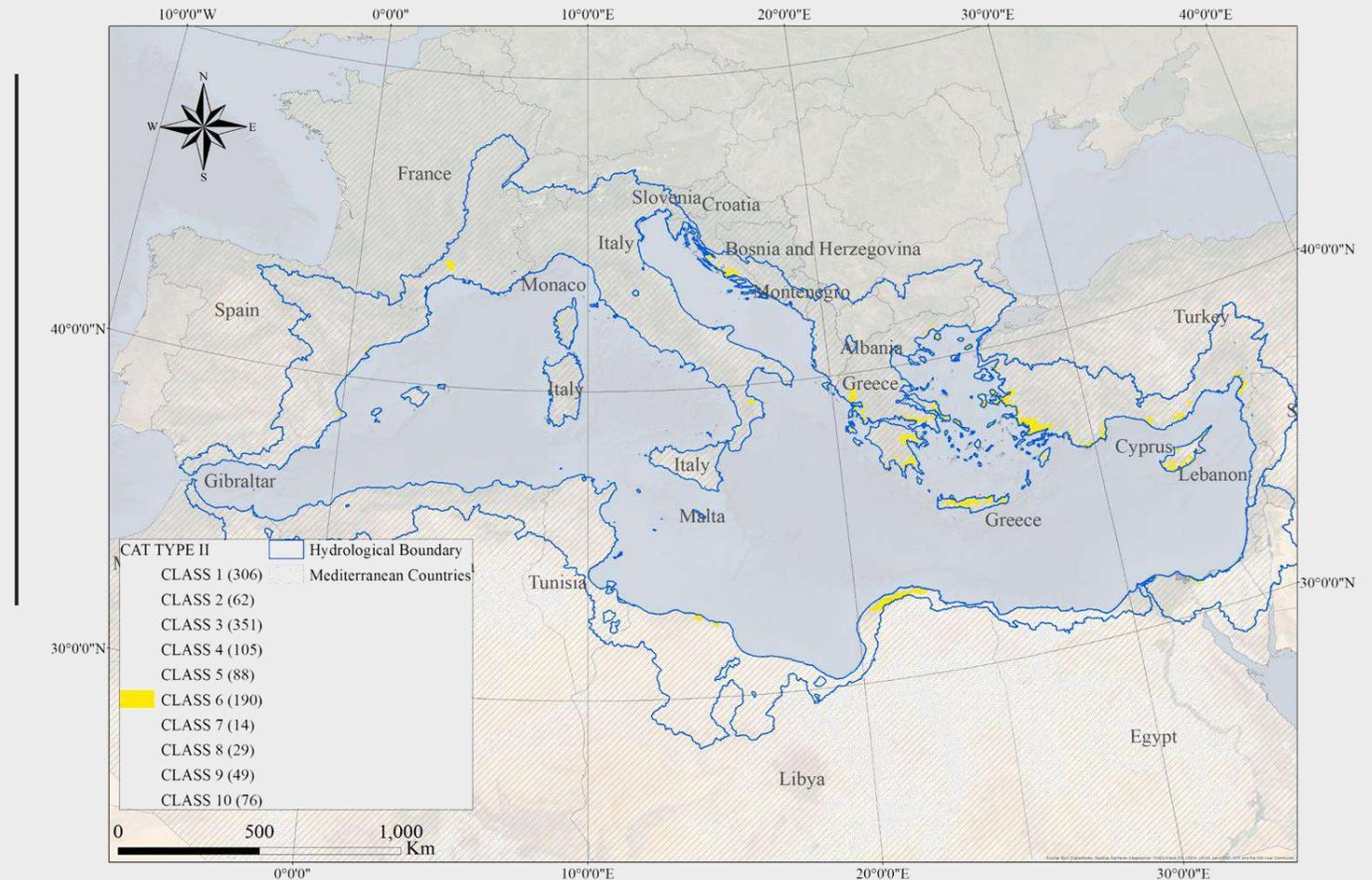


# I- HYDROLOGIE DES B.V. MEDITERRANEENS

## 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)

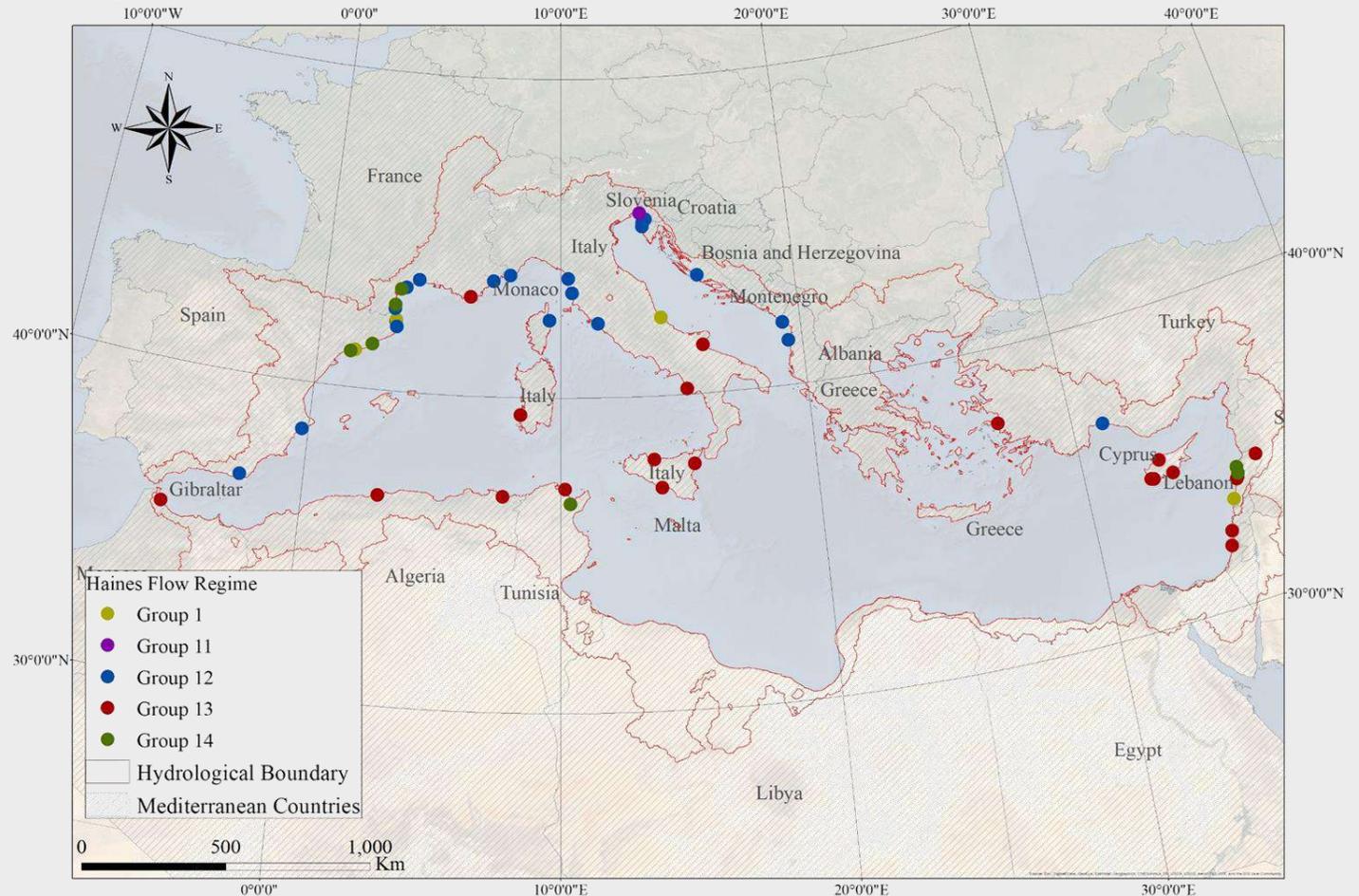
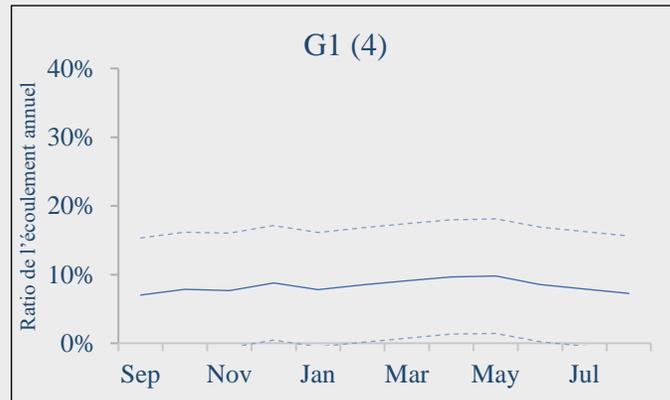
Group 1 : Uniforme

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)

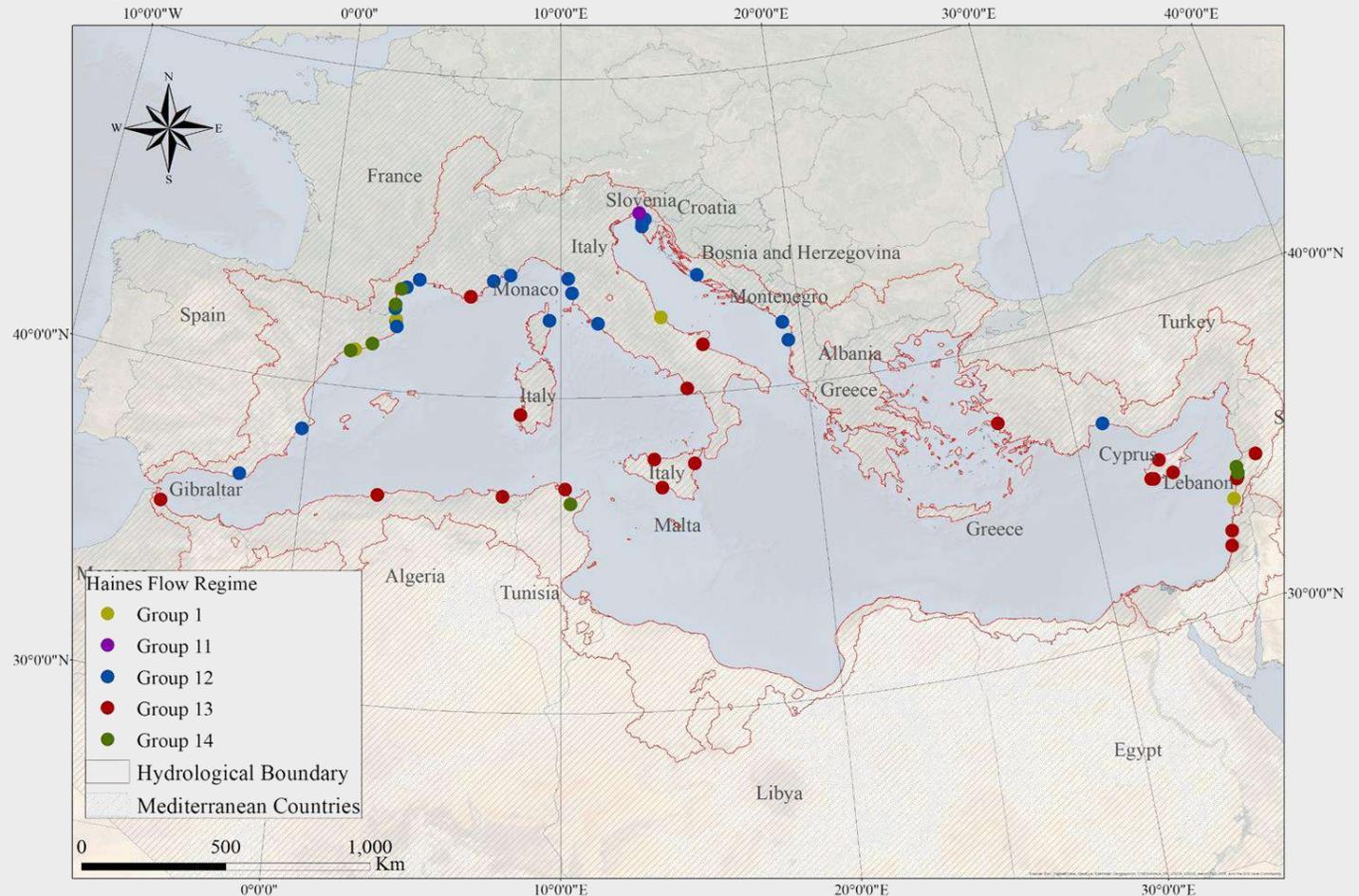
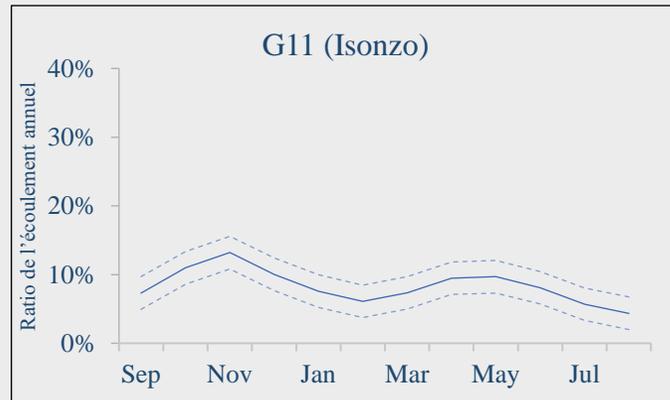
Group 1 : Uniforme

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)

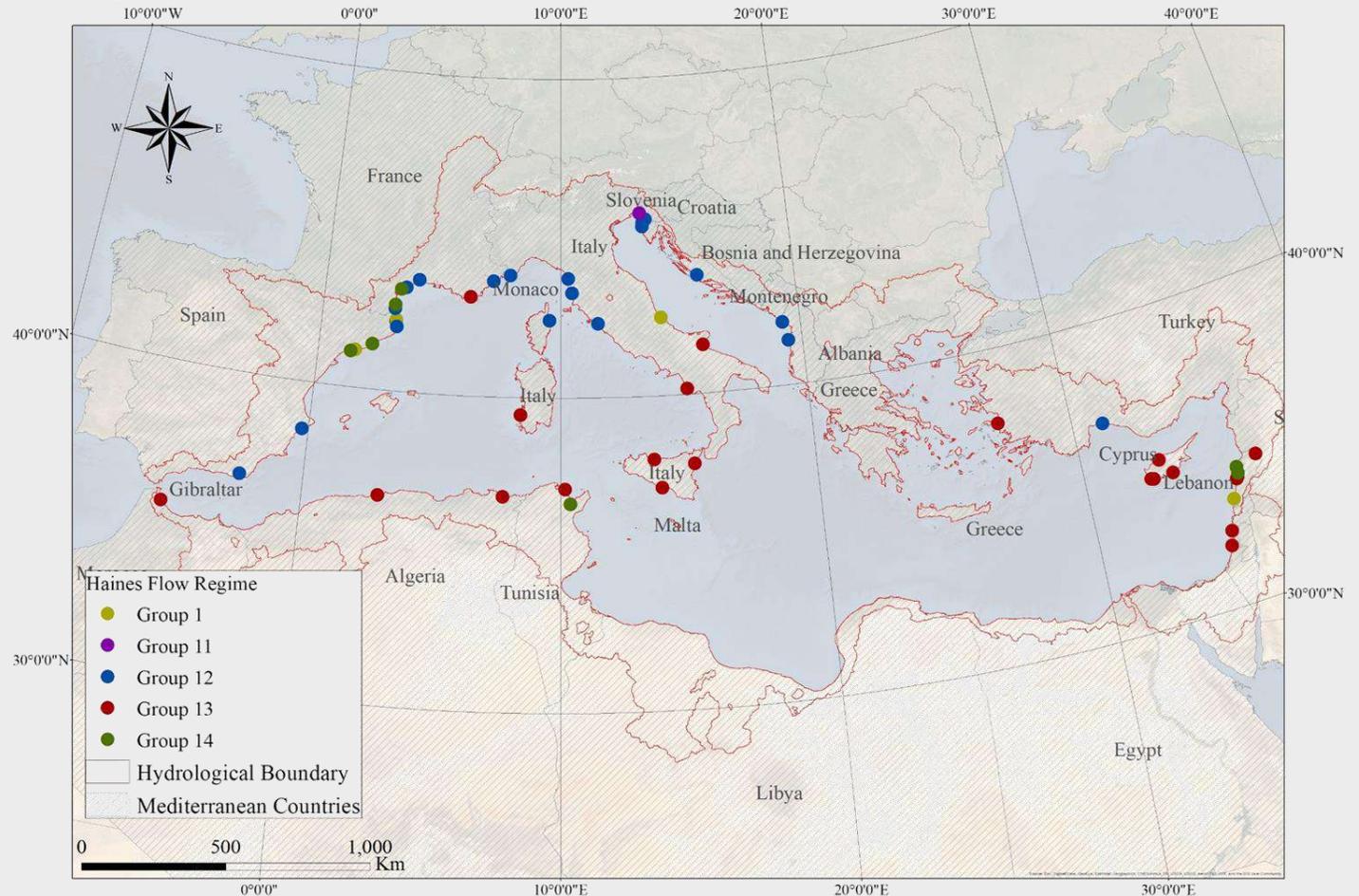
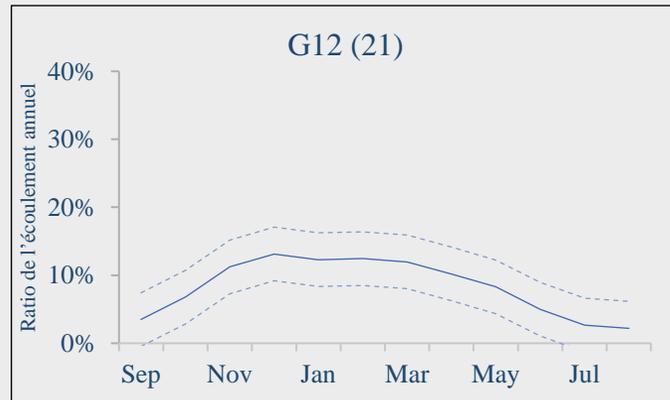
Group 1 : Uniforme

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)

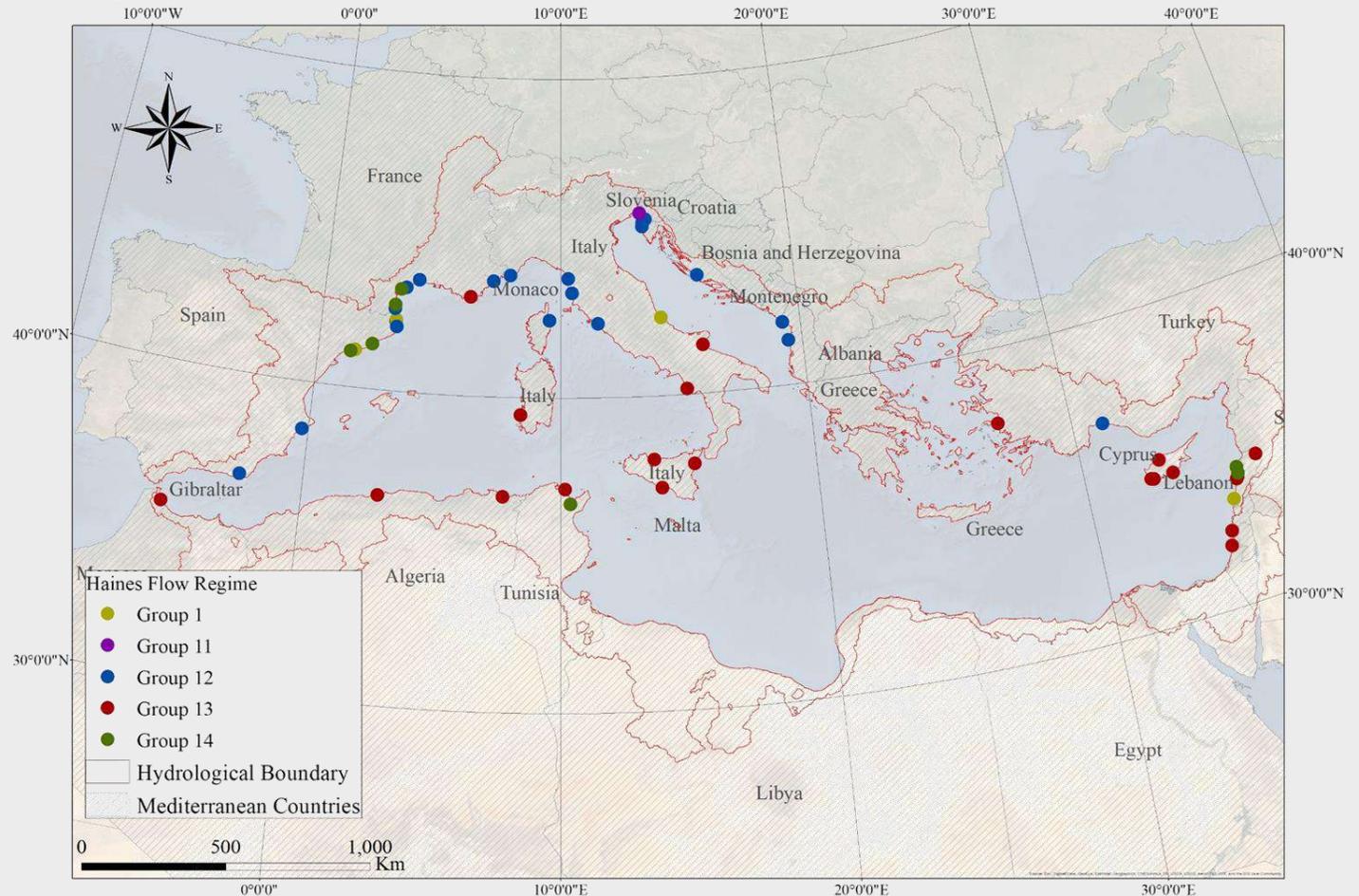
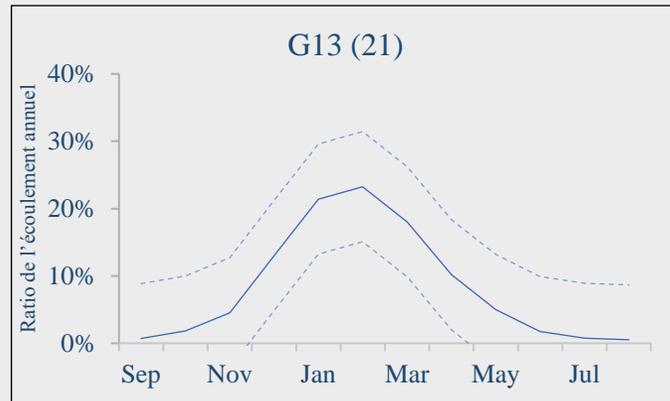
Group 1 : Uniforme

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)

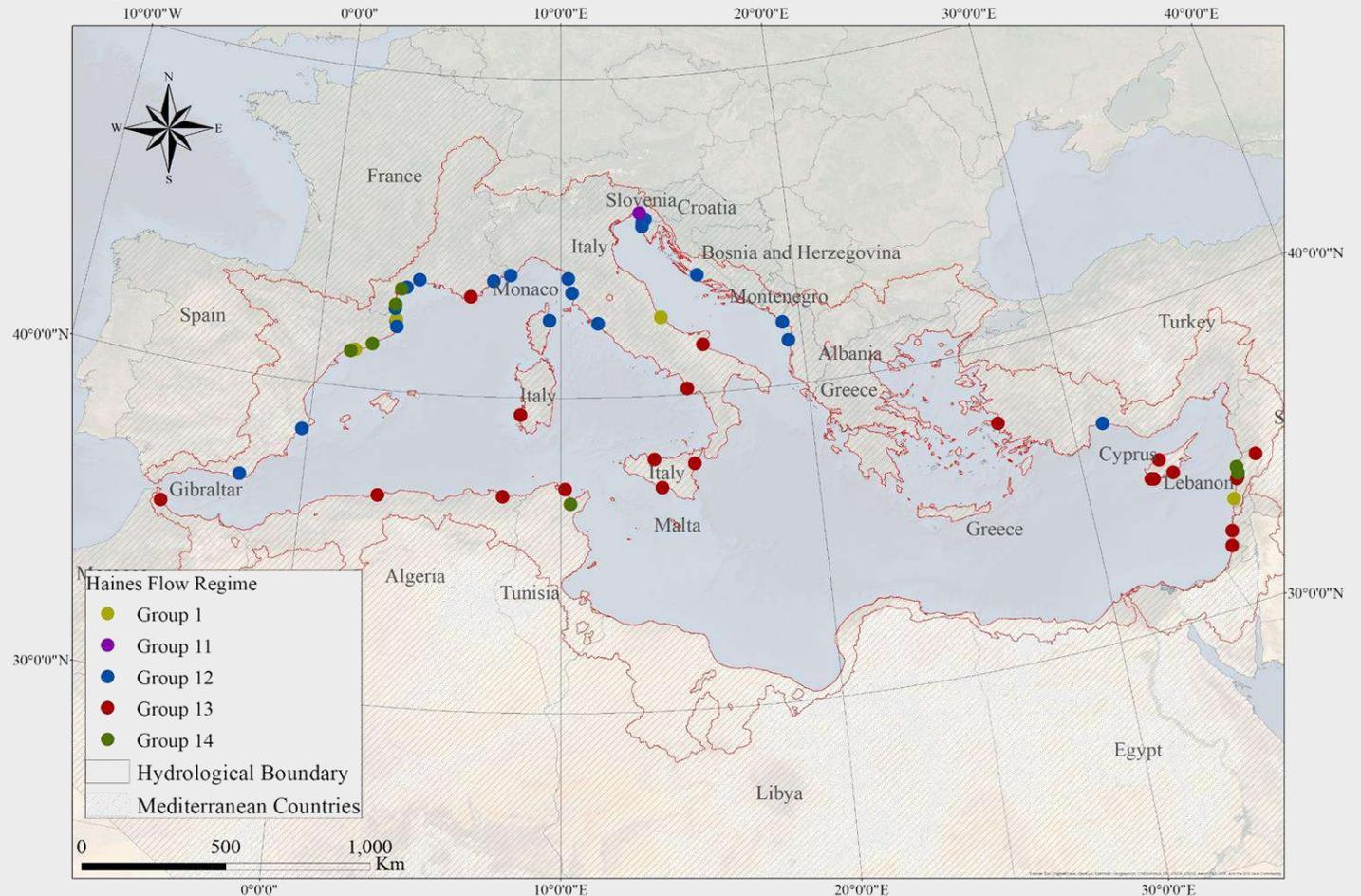
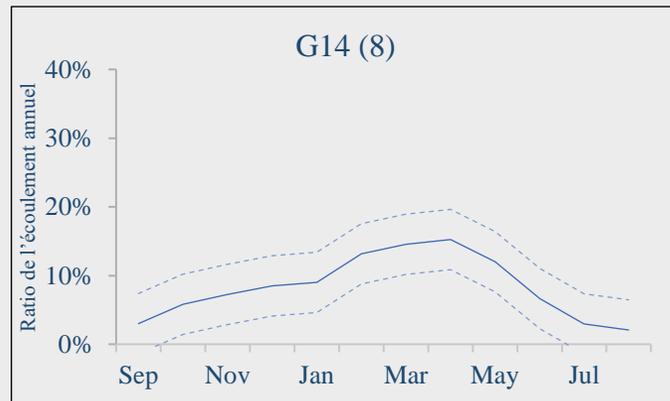
Group 1 : Uniforme

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

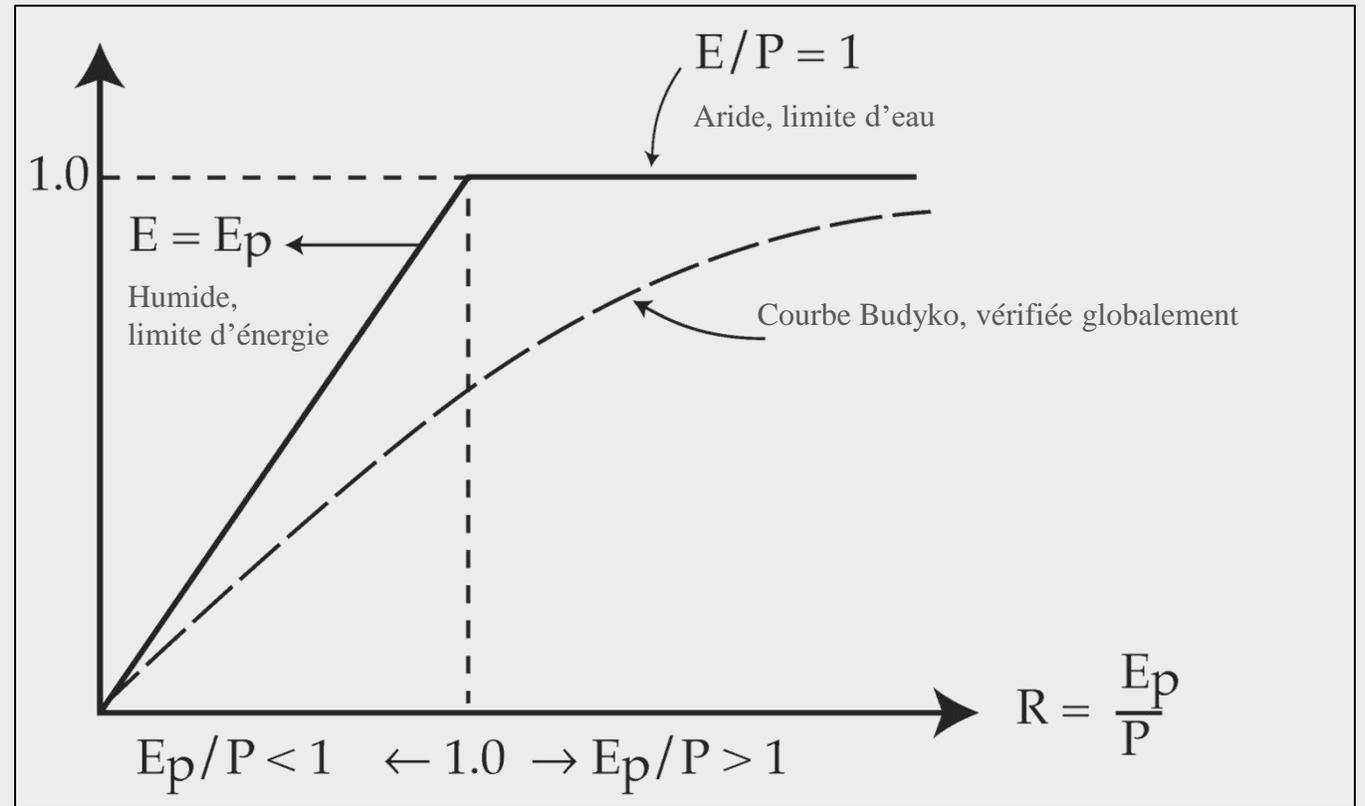
Analyse du comportement hydrologique et du forçage climatique et physiographique

- 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 ( $K_r, K'_r, \rho_Q$ ) et de l'écoulement de base ( $K_u, K'_u, \rho_U$ )  
Ponce & Shetty (1995b), Harman et al. (2011)

# II- DISTRIBUTION DES RESSOURCES

## i. Saisonnalité et aridité

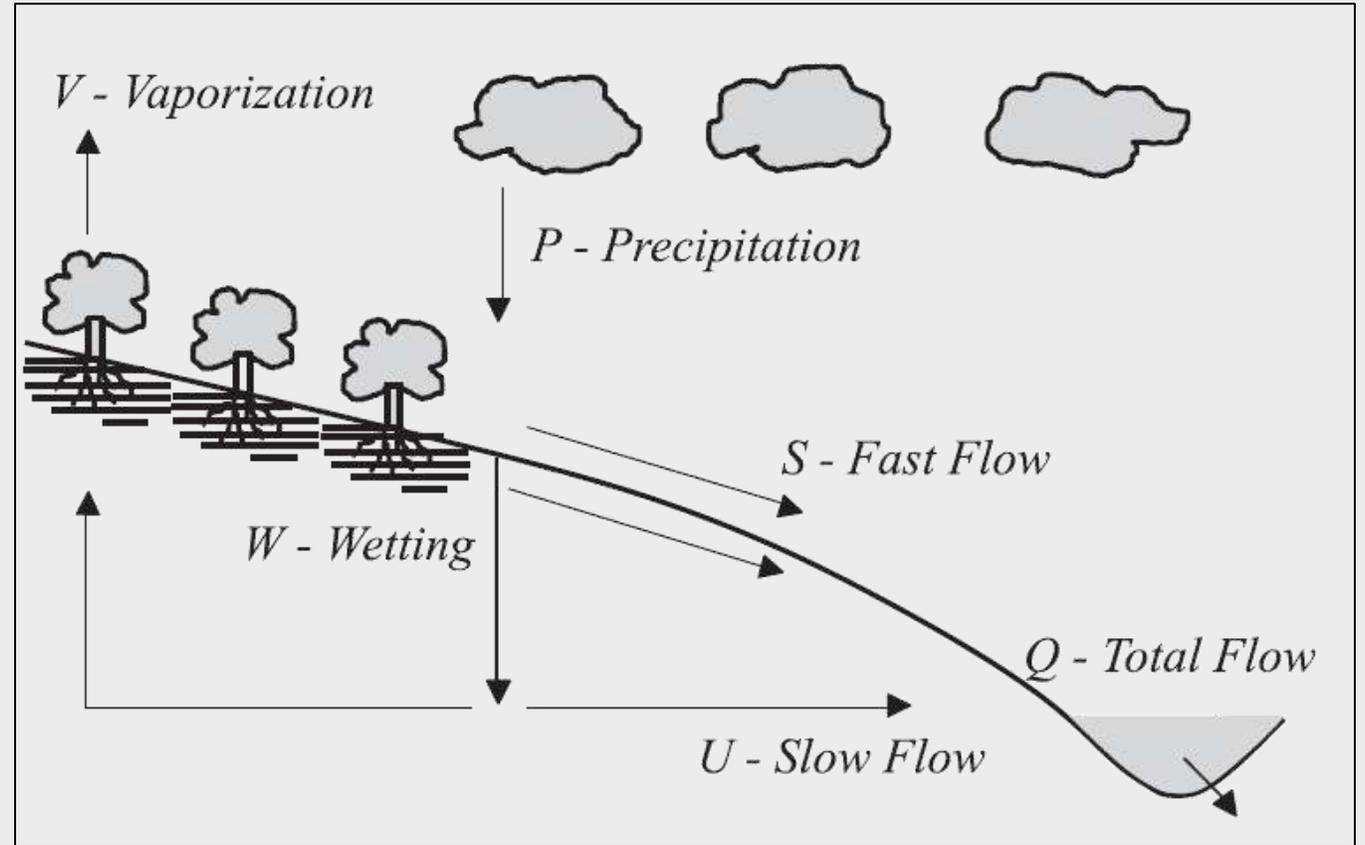
Modèle du bilan annuel	Equation
Budyko, 1974 Bilan énergétique/hydrique	$E = f(P, E_p)$
L'vovich, 1979 Répartition de la précipitation	$P = S + W$ $W = U + V$
Ponce et Shetty, 1995a Conceptuel proportionnel	$S = f(P, \lambda_s W_p)$ $U = f(W, \lambda_u V_p)$
Sivapalan, 2011 Adimensionnel	$S^*$ $U^*$



# II- DISTRIBUTION DES RESSOURCES

## i. Saisonnalité et aridité

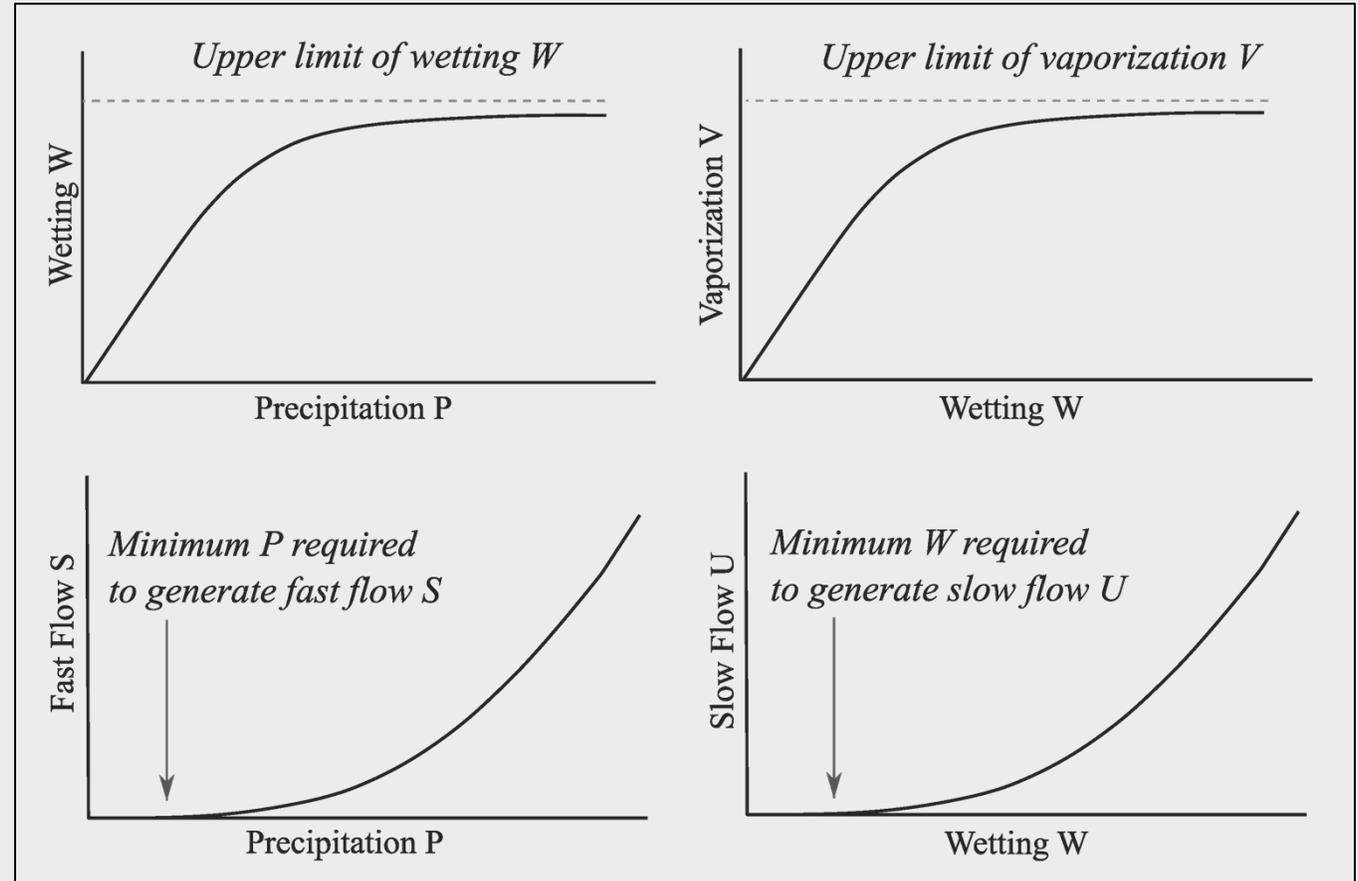
Modèle du bilan annuel	Equation
Budyko, 1974 Bilan énergétique/hydrique	$E = f(P, E_p)$
L'vovich, 1979 Répartition de la précipitation	$P = S + W$ $W = U + V$
Ponce et Shetty, 1995a Conceptuel proportionnel	$S = f(P, \lambda_s W_p)$ $U = f(W, \lambda_u V_p)$
Sivapalan, 2011 Adimensionnel	$S^*$ $U^*$



# 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	$S^*$ $U^*$



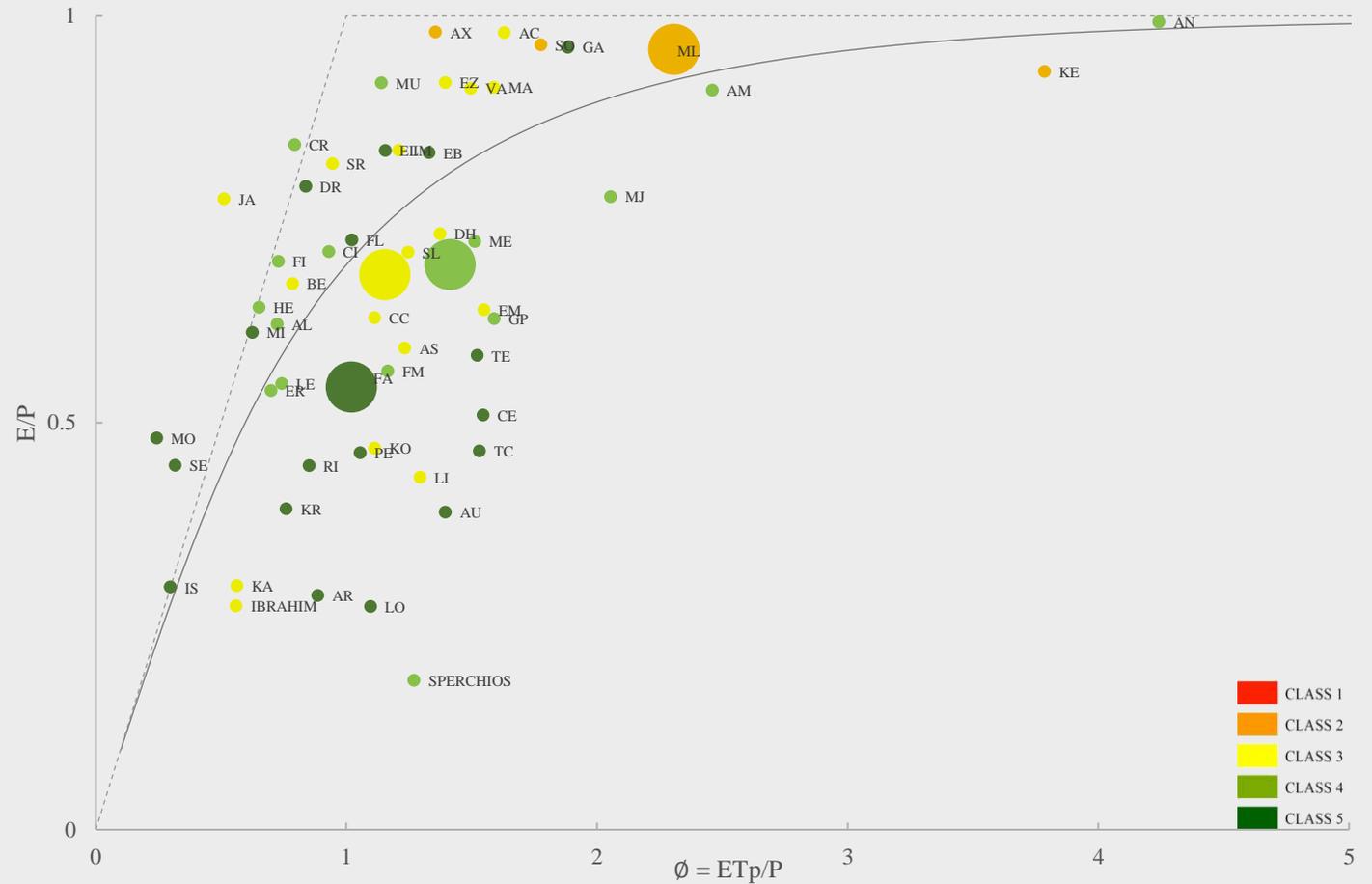
# II- DISTRIBUTION DES RESSOURCES

## 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 appartiennent 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



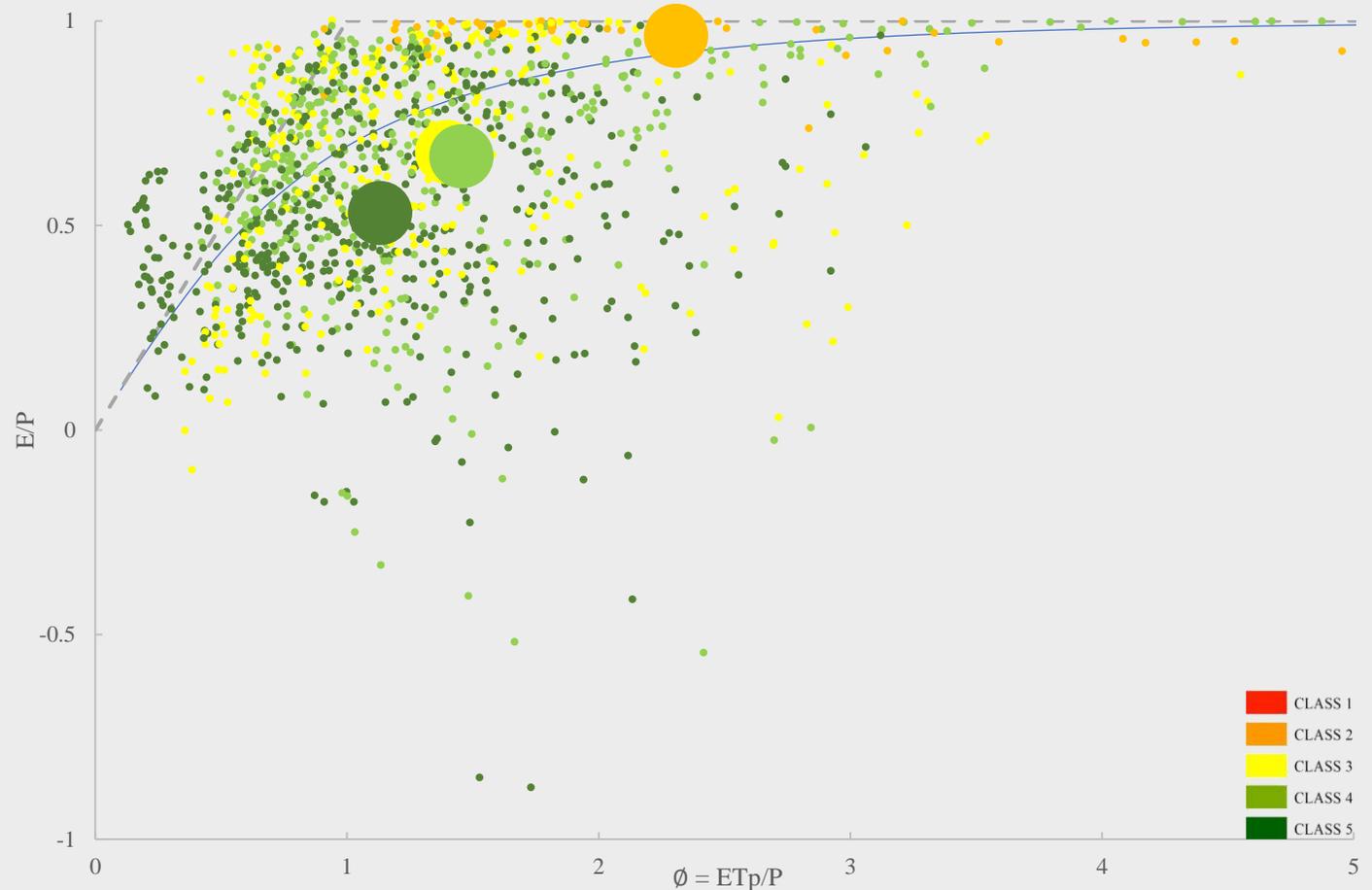
# II- DISTRIBUTION DES RESSOURCES

## 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

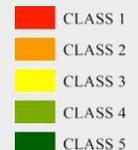
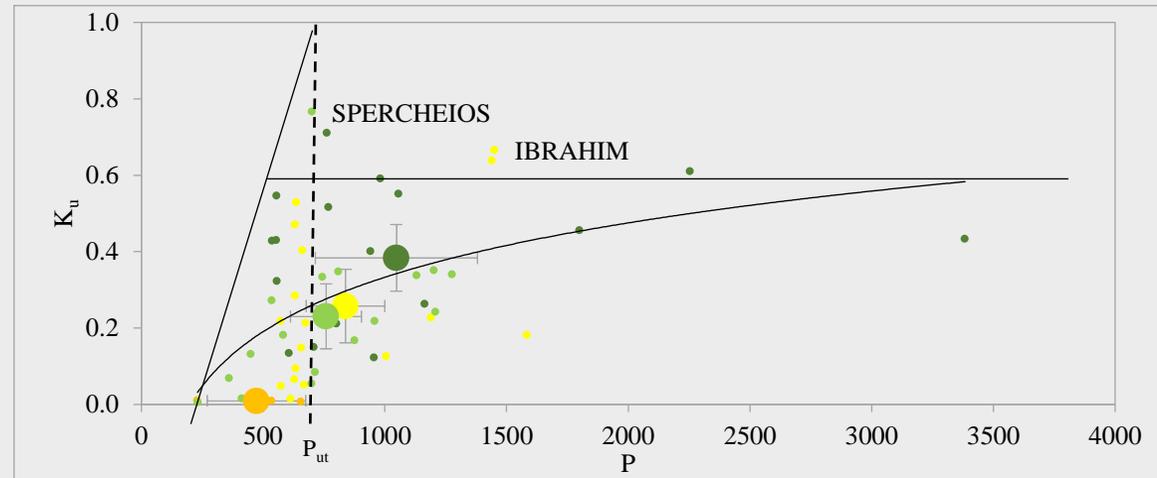
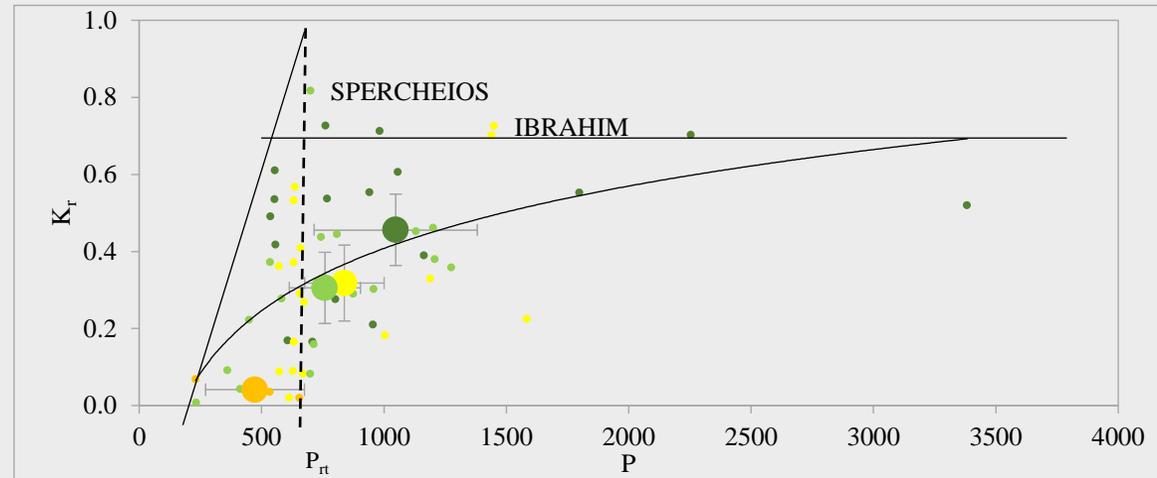
$$K_r = 0.47$$

$$K_u = 0.42$$

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

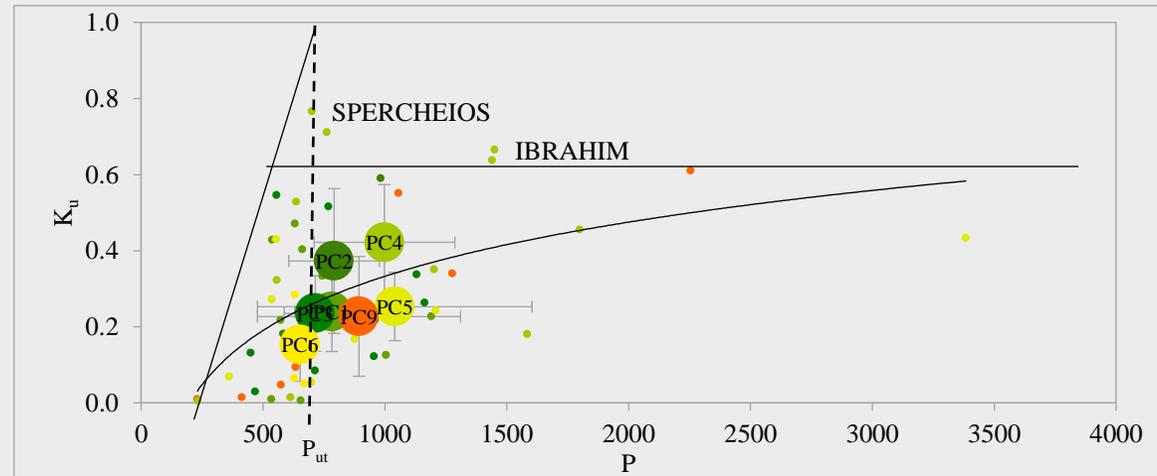
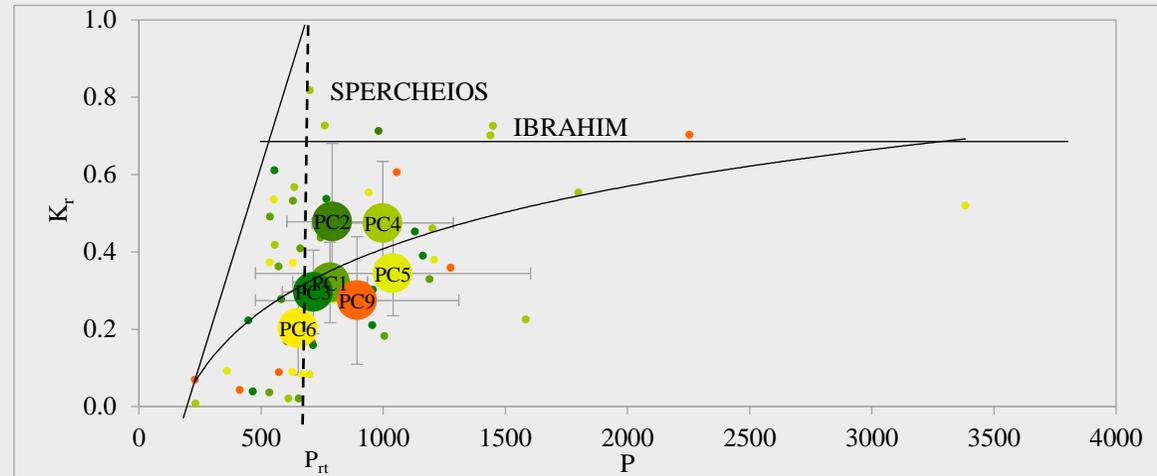
$$K_r = 0.47$$

$$K_u = 0.42$$

PC6

$$K_r = 0.20$$

$$K_u = 0.15$$



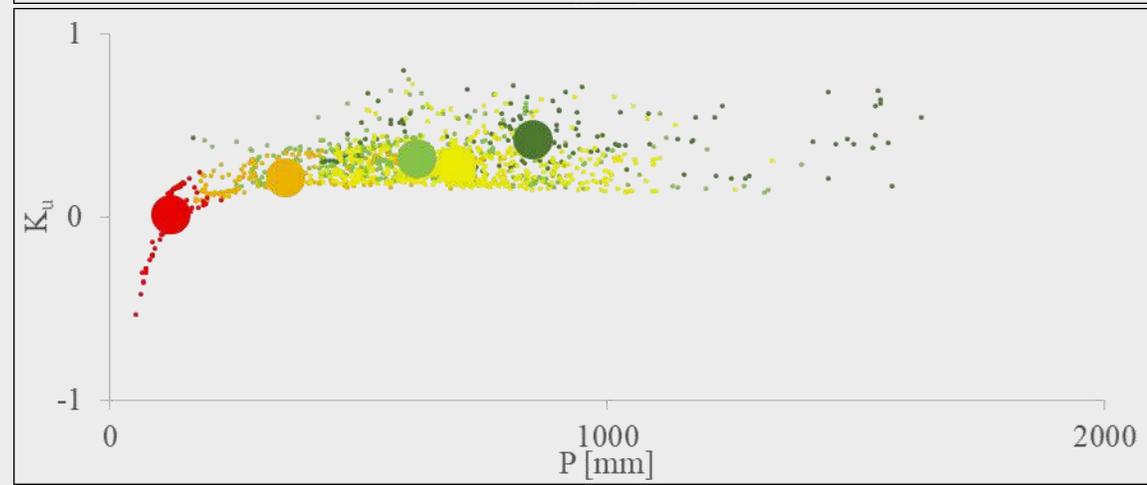
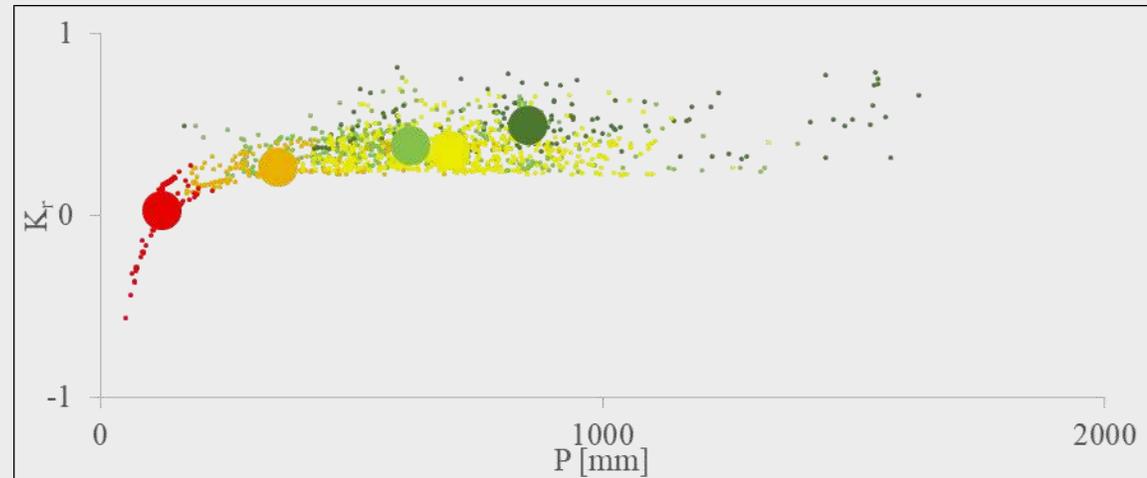
# II- DISTRIBUTION DES RESSOURCES

## 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

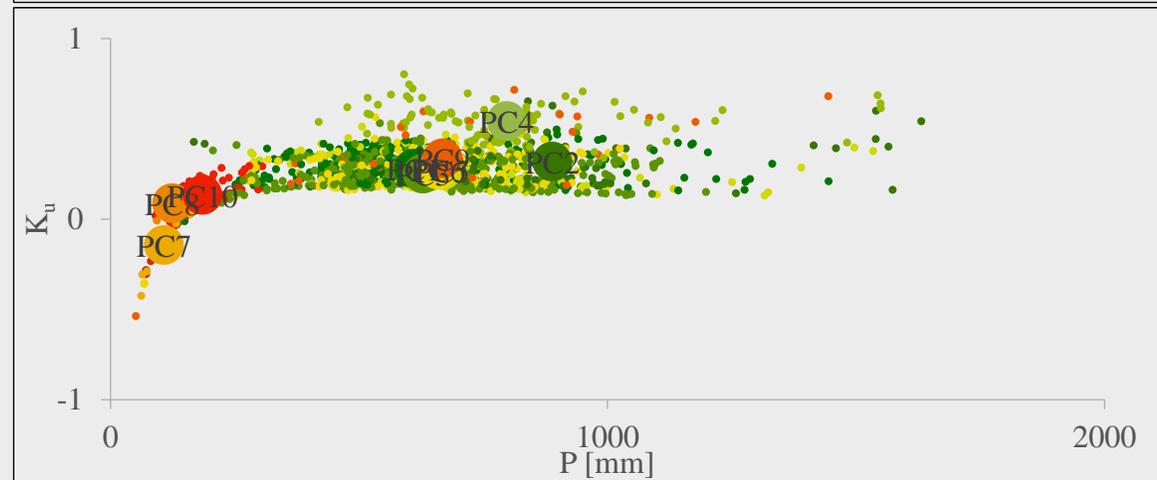
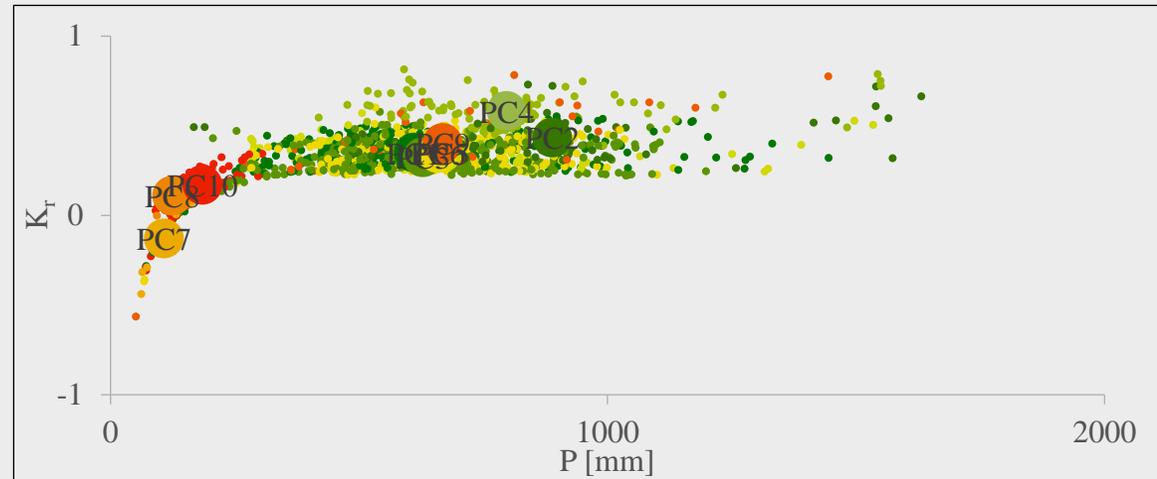
# II- DISTRIBUTION DES RESSOURCES

## 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

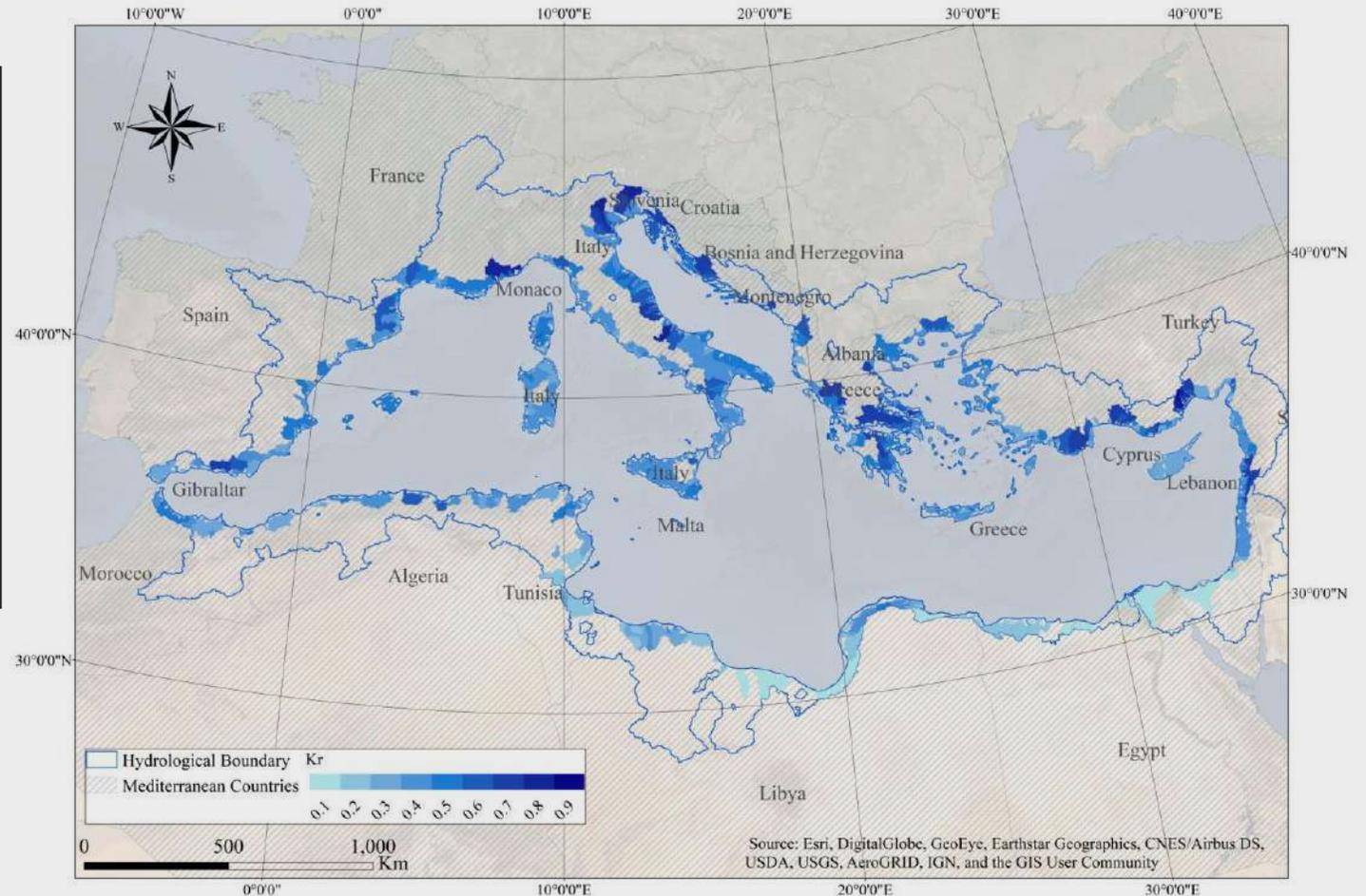
### Coefficients d'écoulements

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

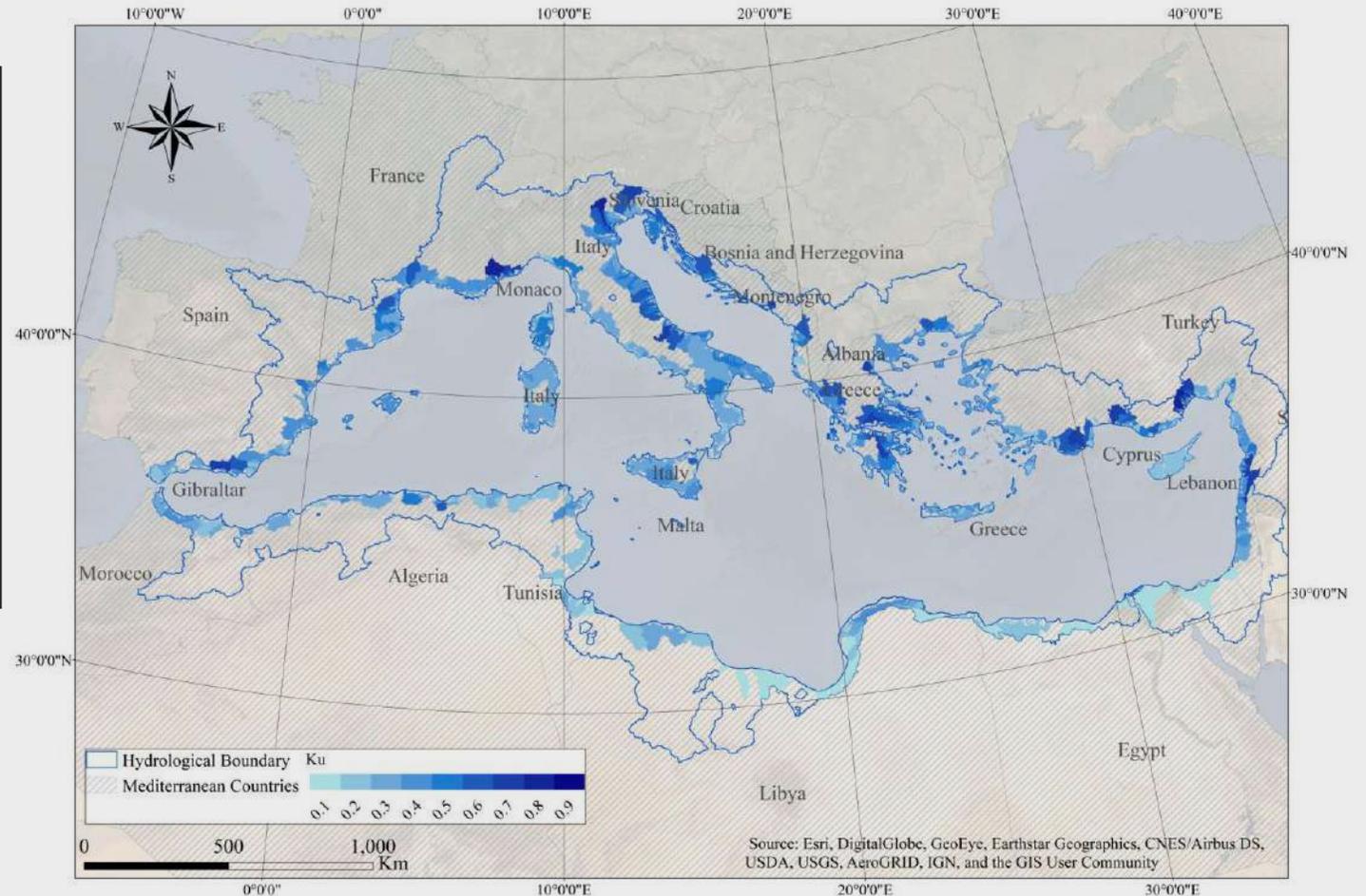
### Coefficients d'écoulements

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

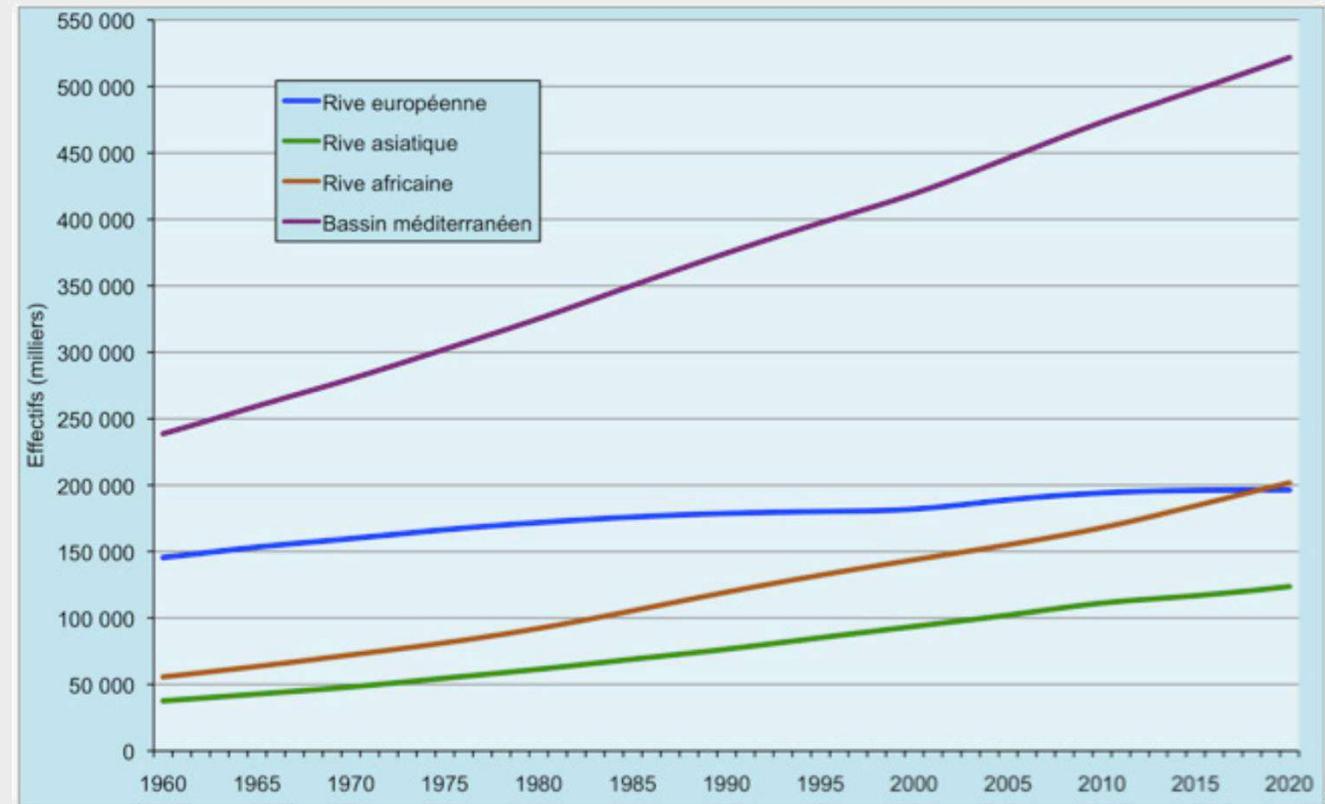
## i. Anthropique

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

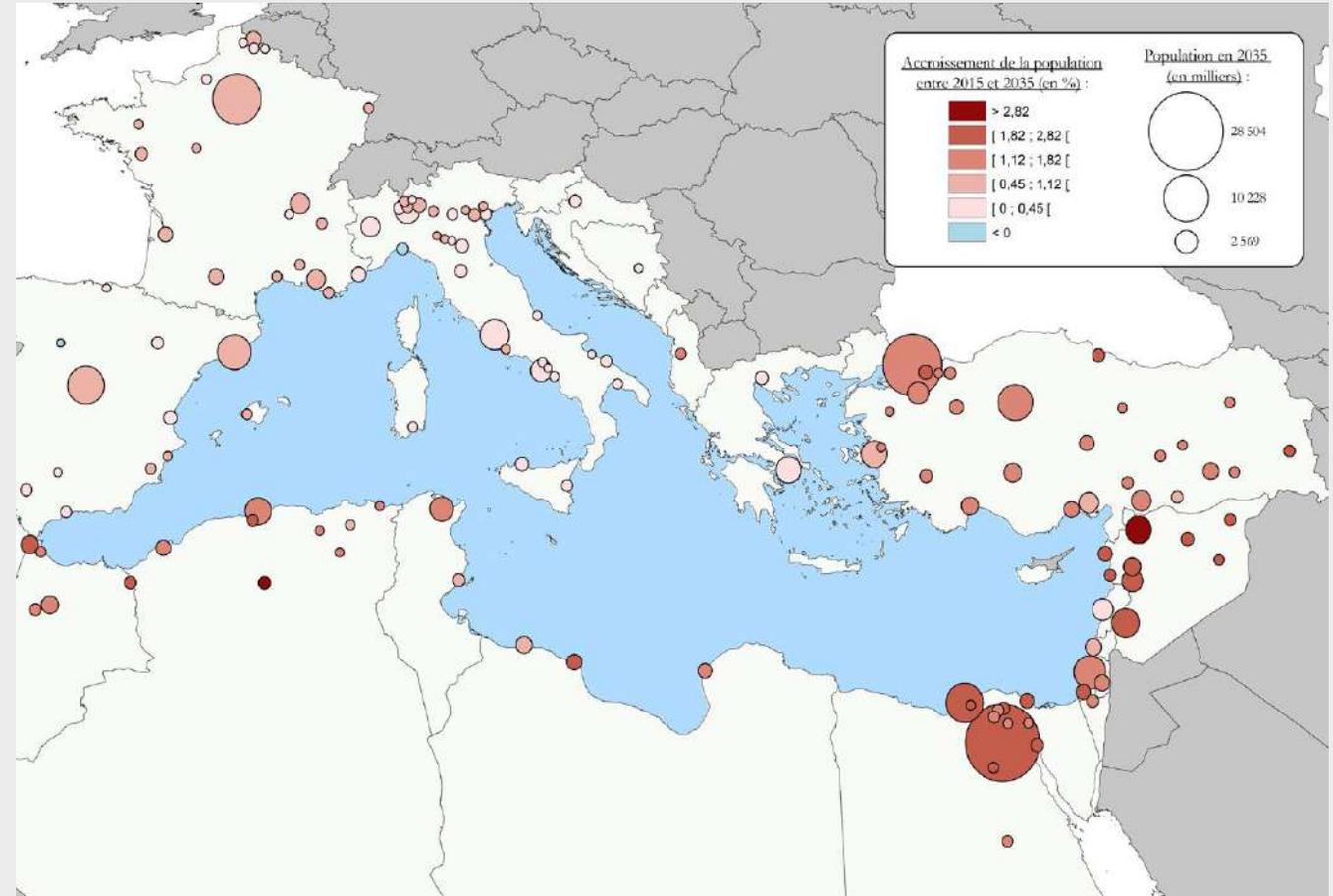
## i. Anthropique

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

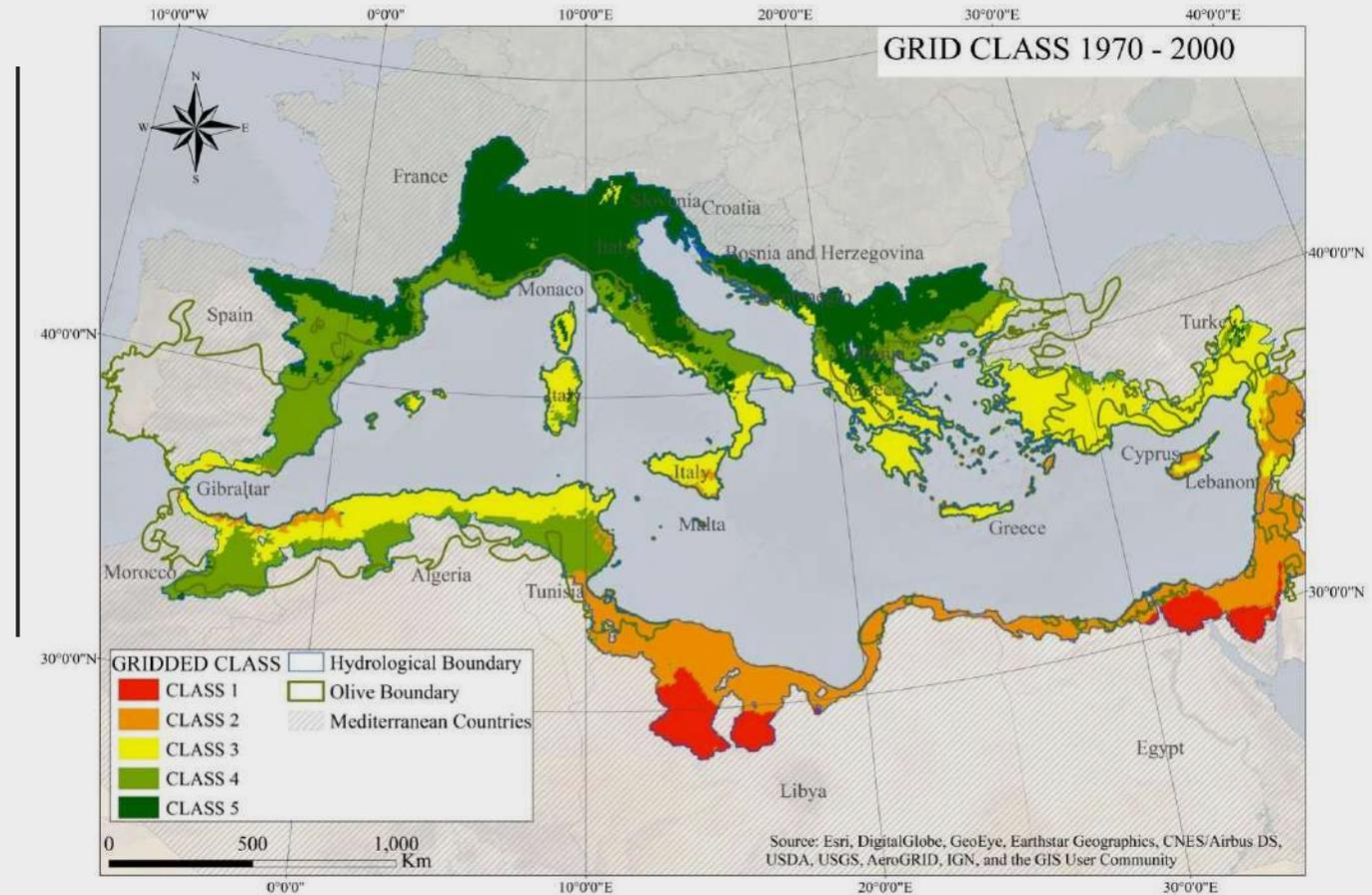
### ALADIN RCP-4.5

+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

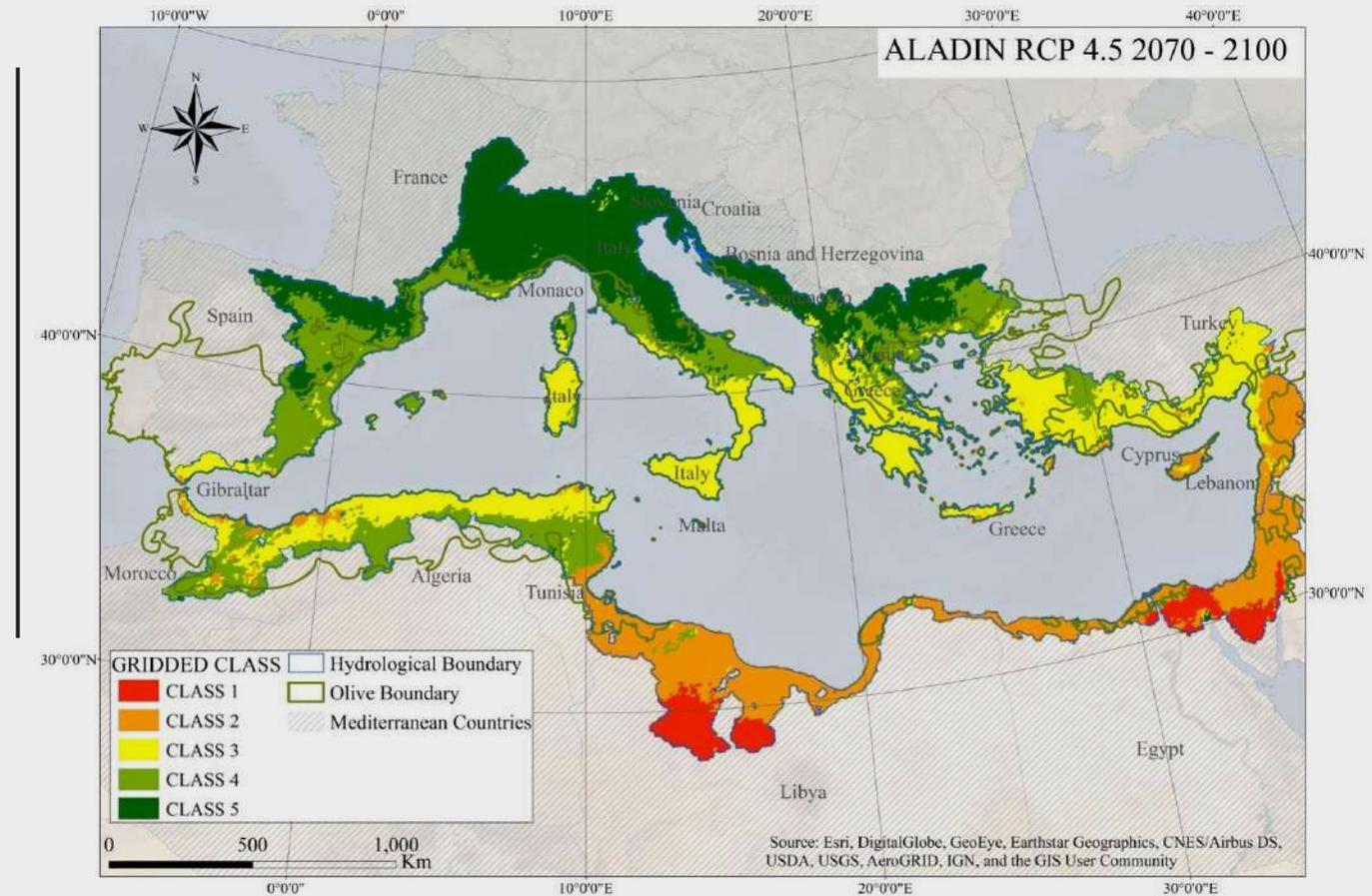
### ALADIN RCP-4.5

+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

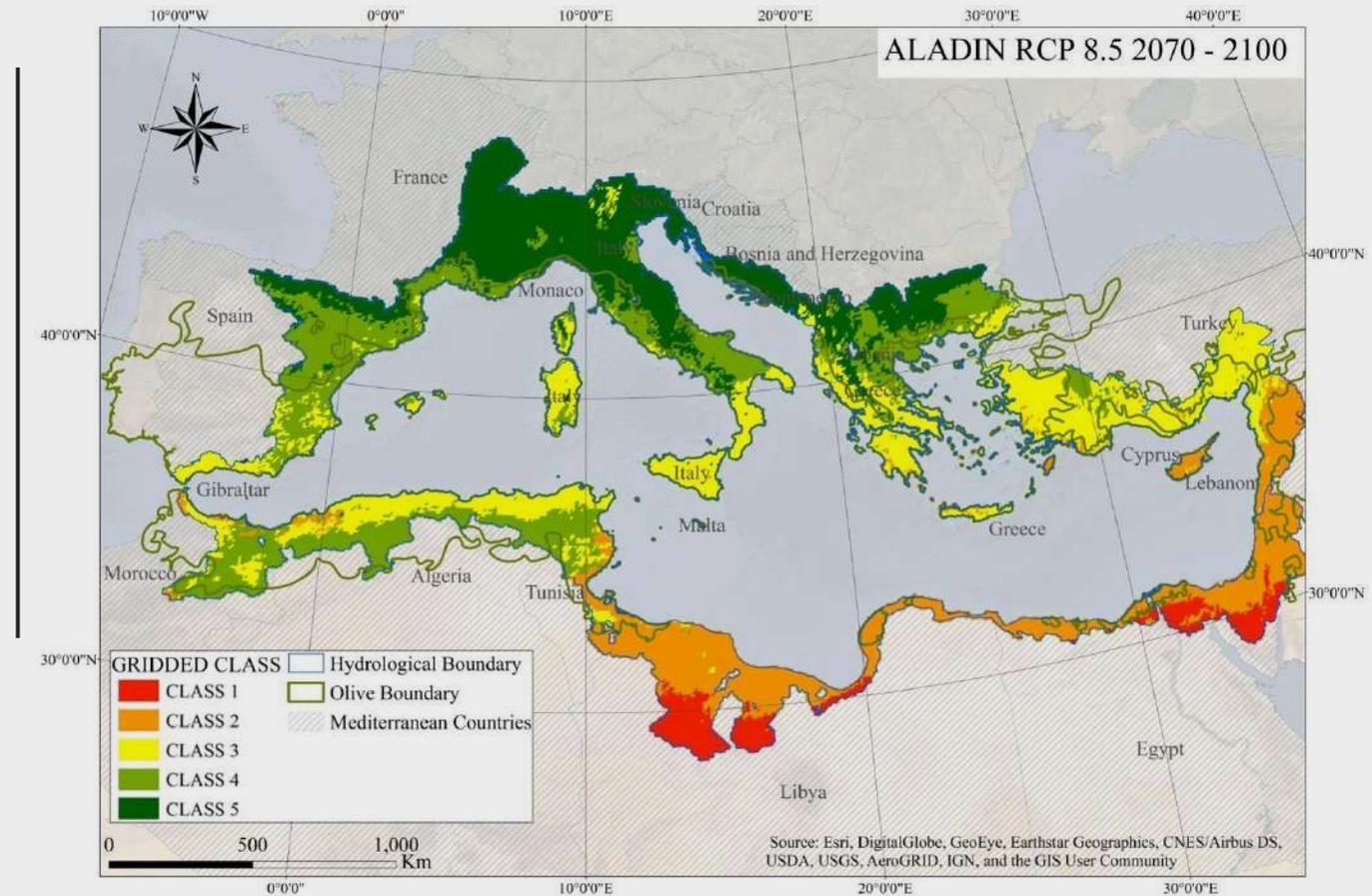
### ALADIN RCP-4.5

+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

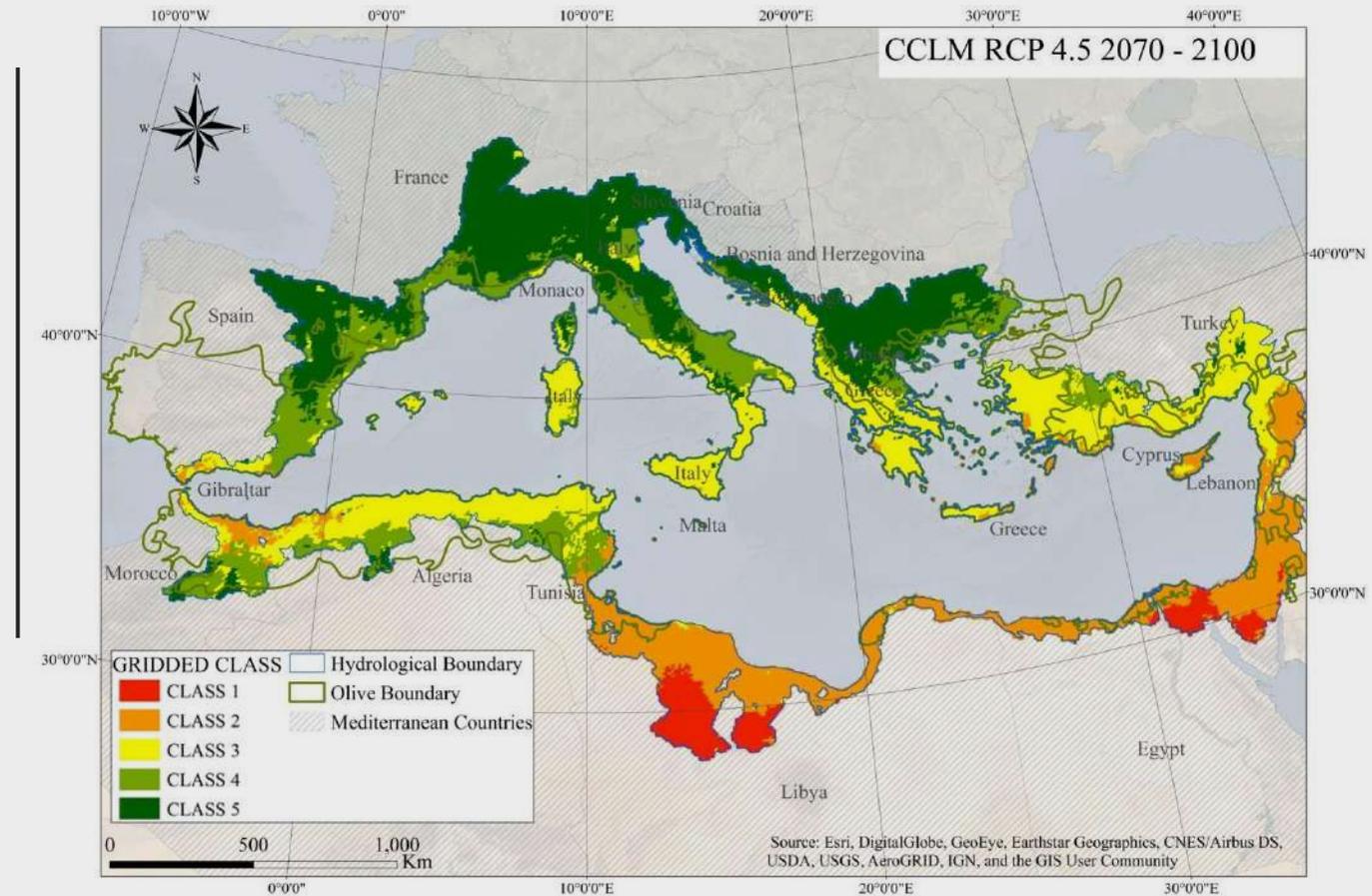
### ALADIN RCP-4.5

+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

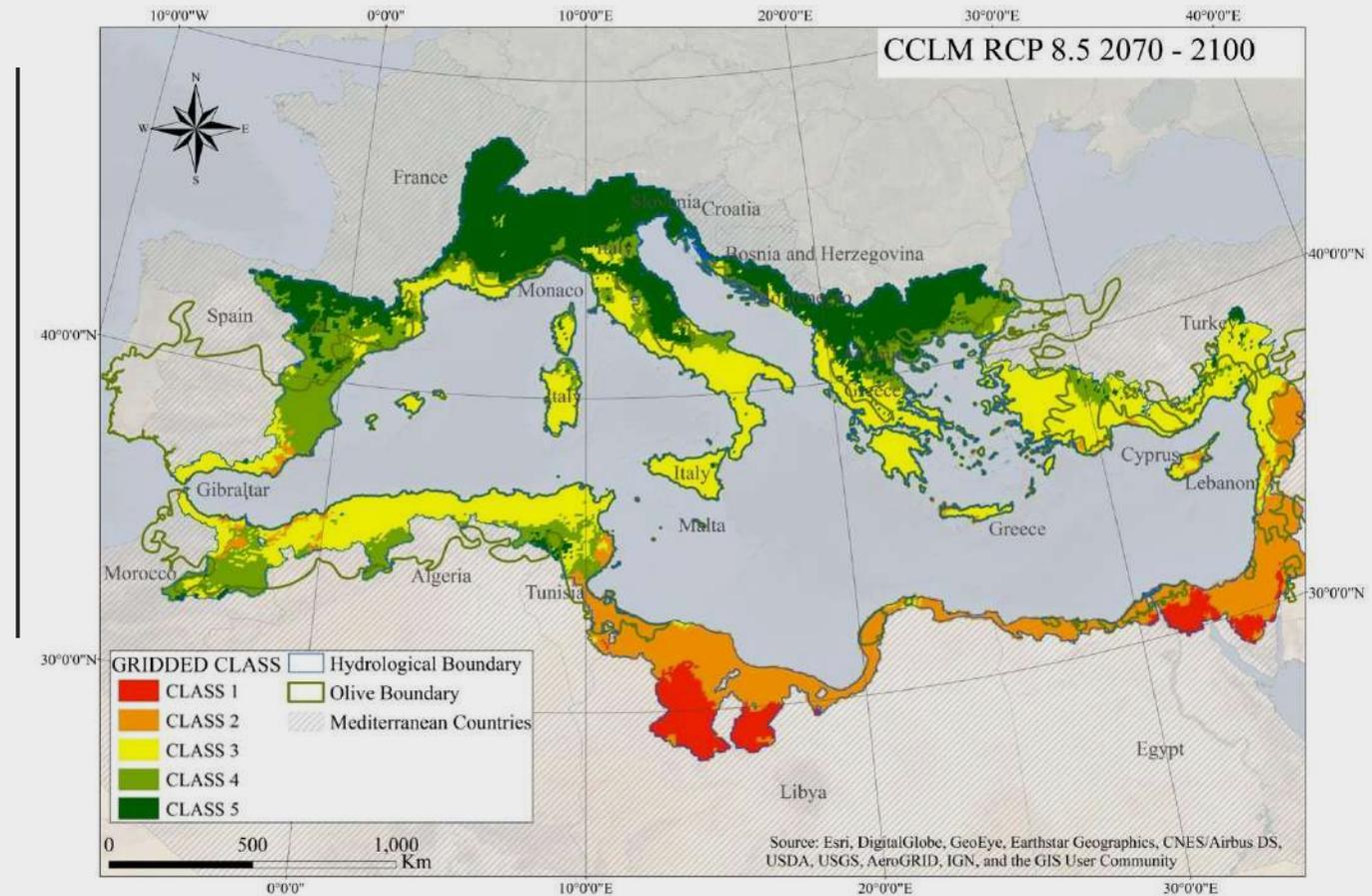
### ALADIN RCP-4.5

+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

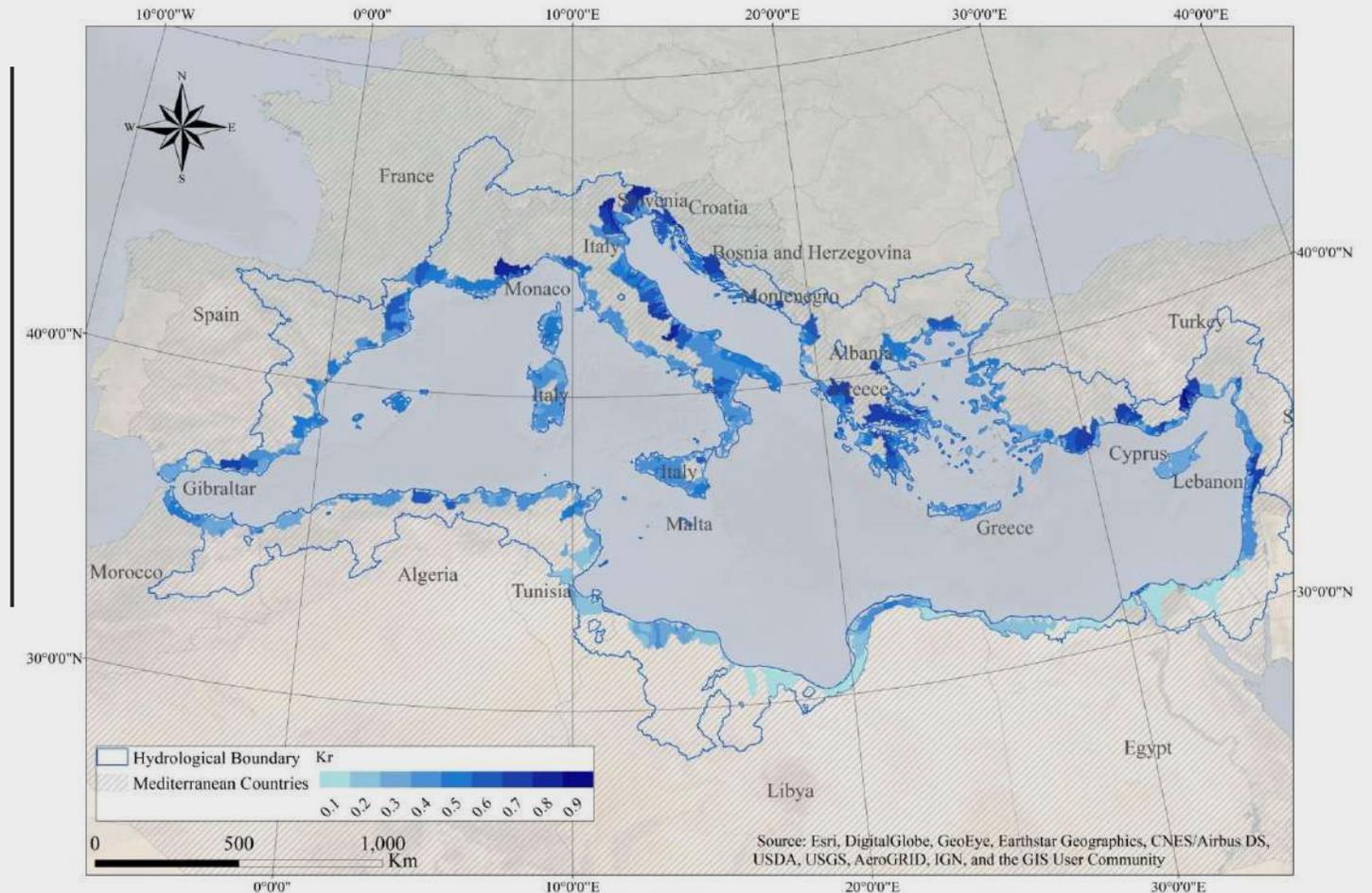
#### ALADIN RCP-4.5

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

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

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

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



# III- EVOLUTION ET DEFIS

## iii. Projection climatique

### Coefficients d'écoulements

Les moyennes augmentent  
Les extrêmes diminuent

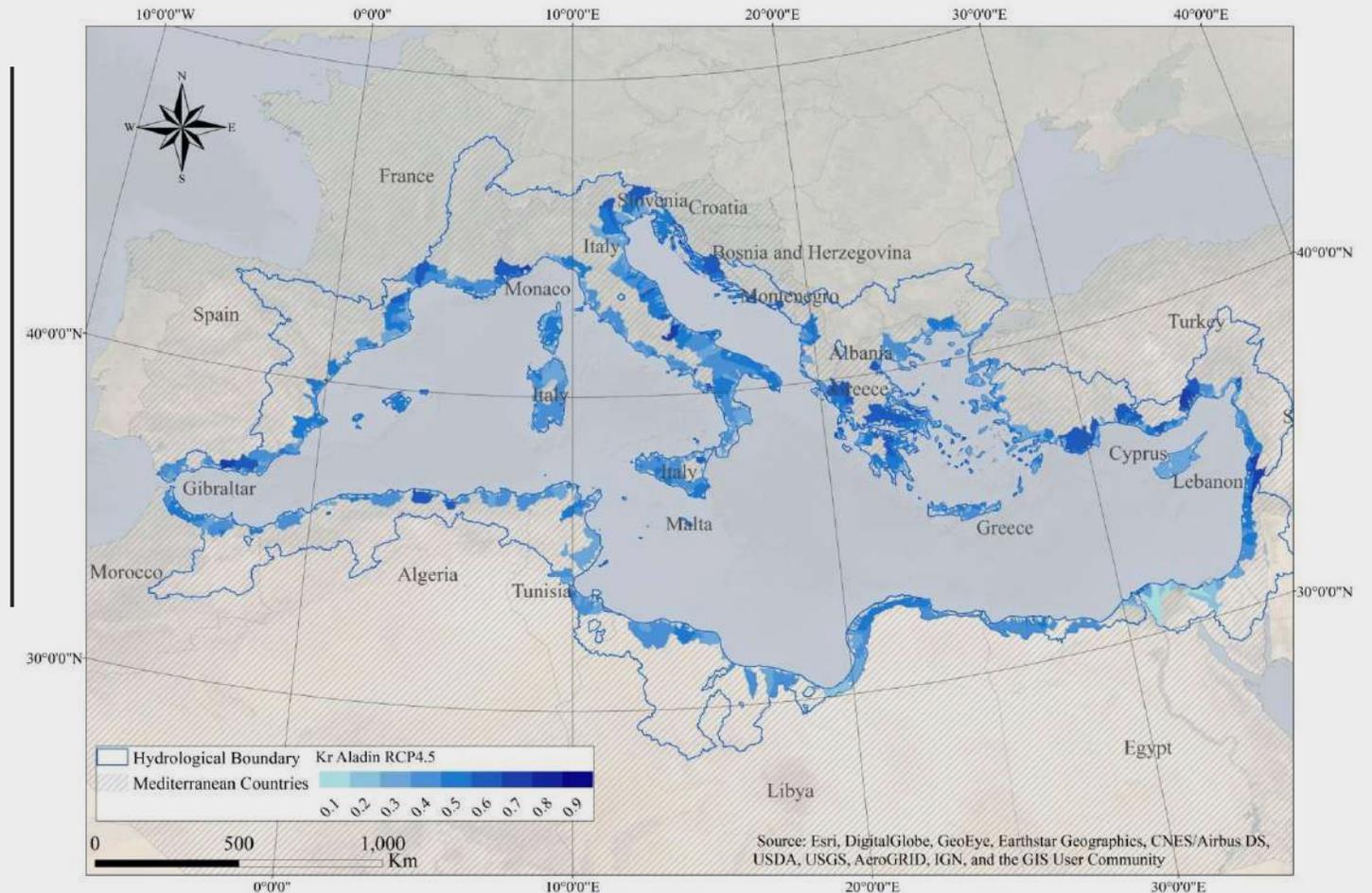
#### ALADIN RCP-4.5

$K_r = 0.36 (+7\%)$

$K_u = 0.29 (+5\%)$

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

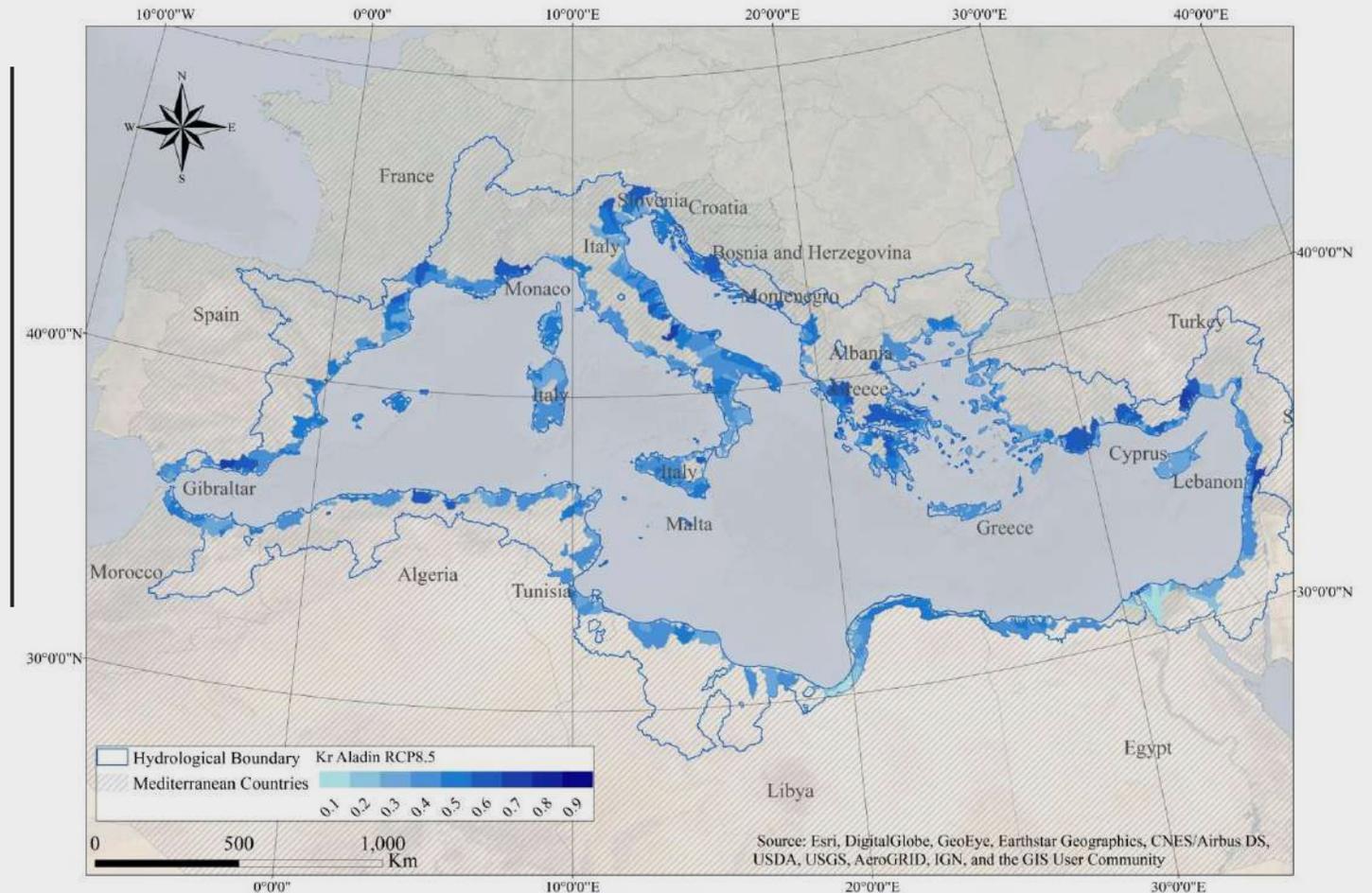
#### ALADIN RCP-4.5

$K_r = 0.36 (+7\%)$

$K_u = 0.29 (+5\%)$

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

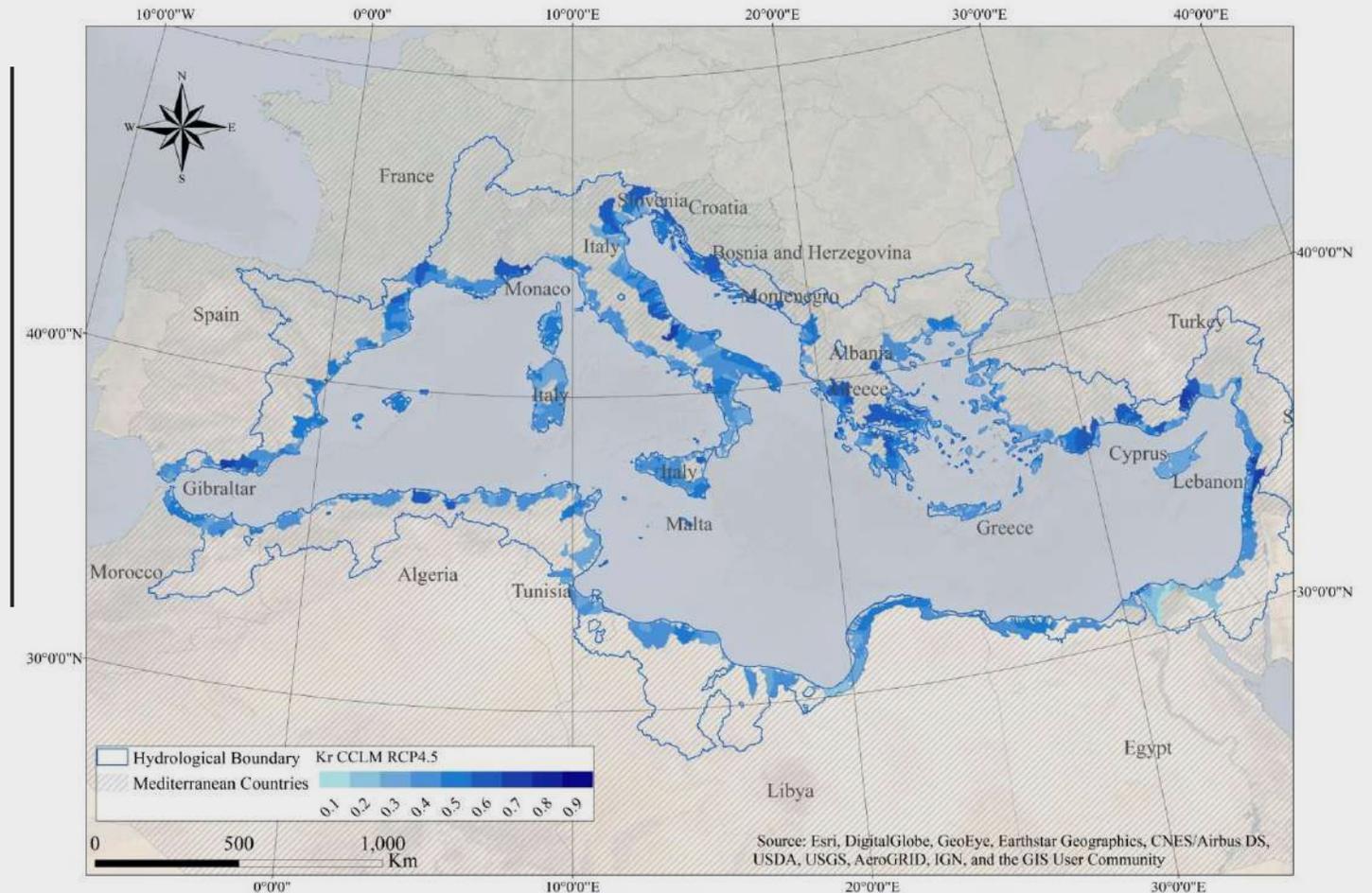
#### ALADIN RCP-4.5

$K_r = 0.36 (+7\%)$

$K_u = 0.29 (+5\%)$

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

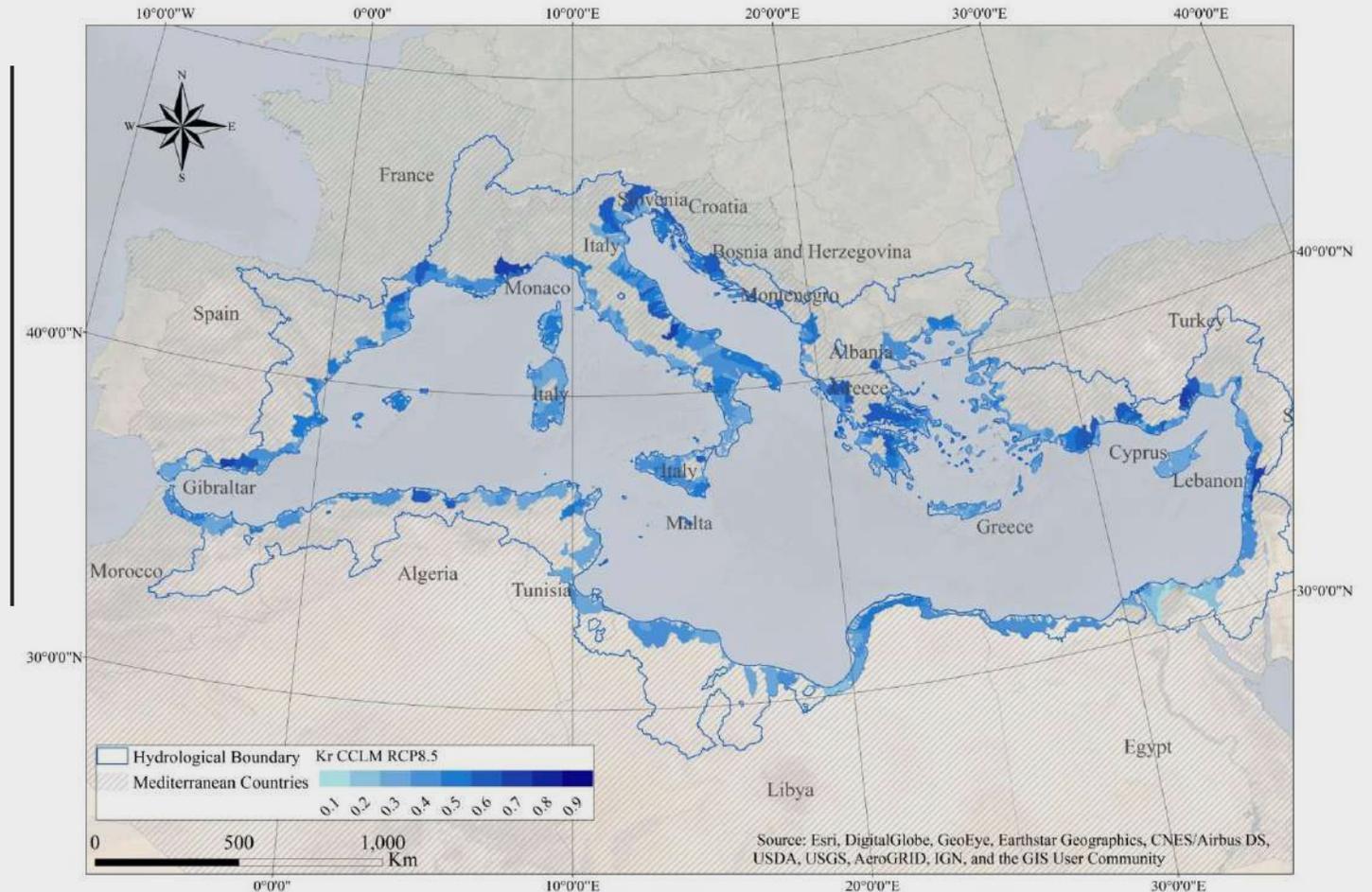
#### ALADIN RCP-4.5

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

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

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

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



# III- EVOLUTION ET DEFIS

## iii. Projection climatique

### Evolution climatique

#### Précipitation

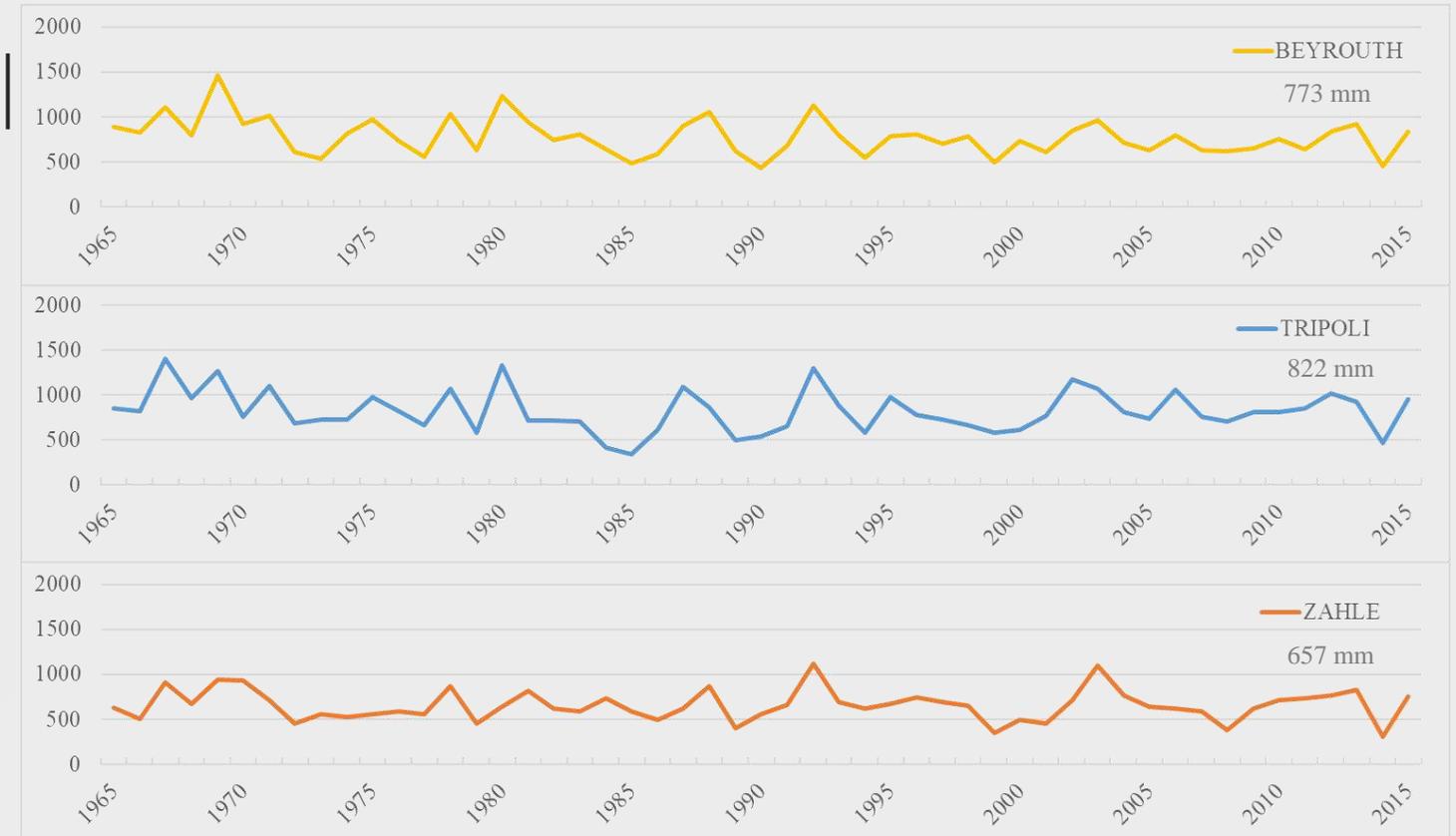
Aucune tendance depuis 50 ans

#### 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

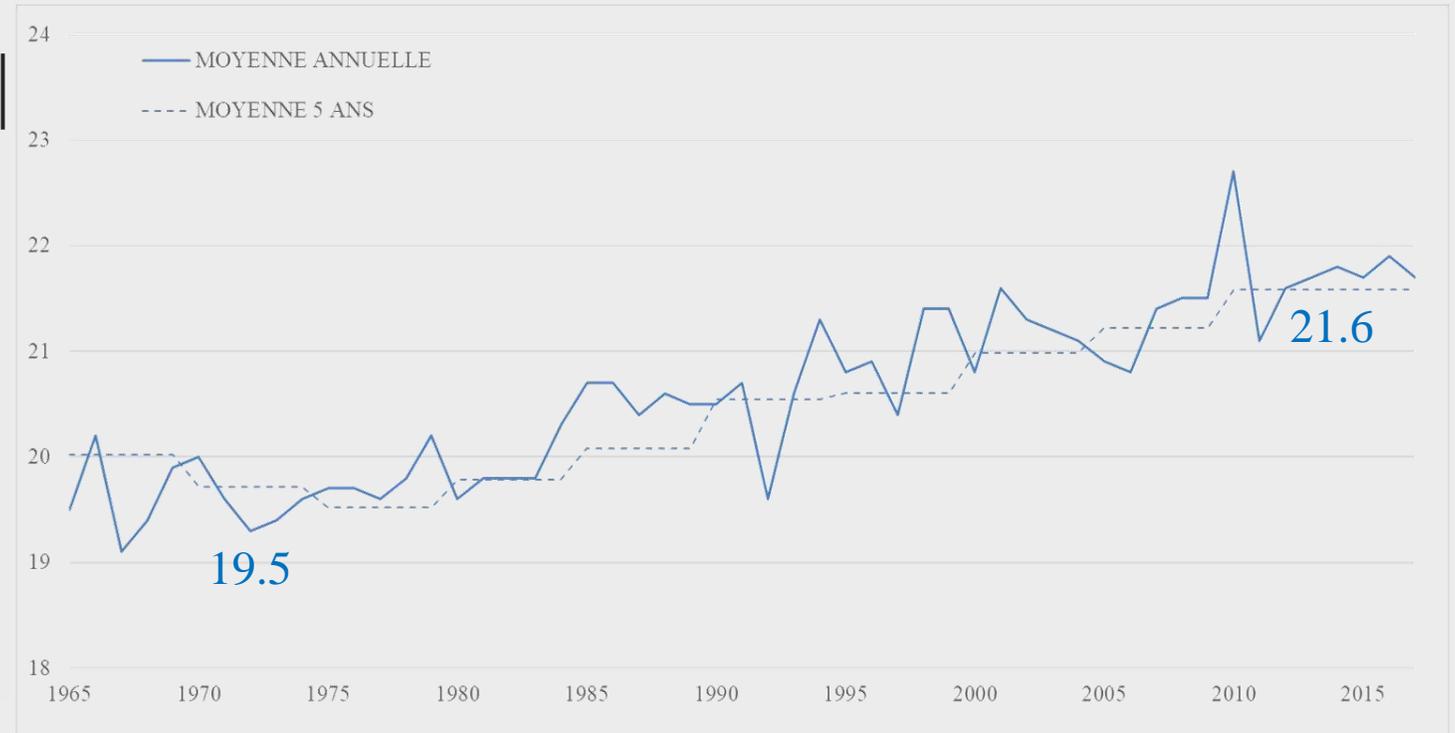
Aucune tendance depuis 50 ans

#### Température

Tendance croissante de +2°C

#### Neige

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

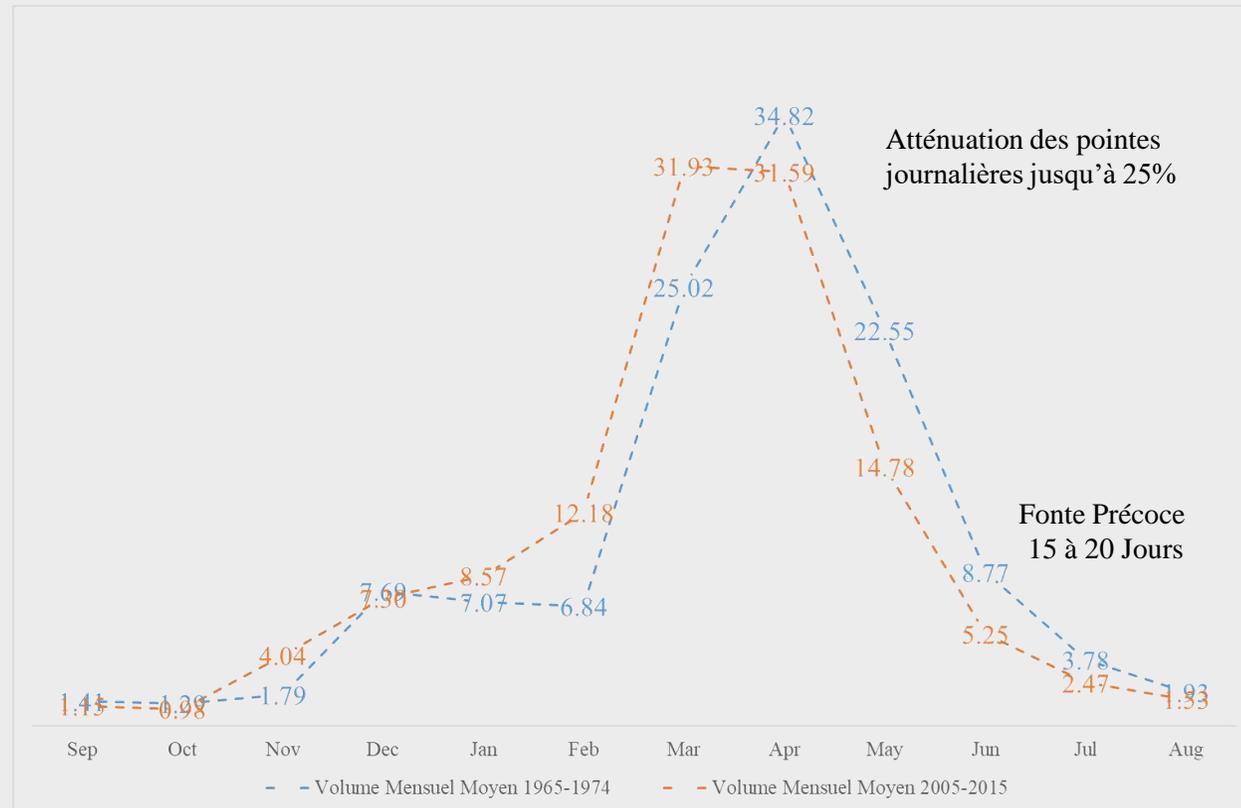


# III- EVOLUTION ET DEFIS

## iii. Projection climatique

Impact sur les ressources

Mois	Variation volume mensuel (Mm <sup>3</sup> )	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%
<b>Année</b>	<b>-1.2</b>	<b>-1%</b>



# 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