



Conférence Parménides IX – GID-CIHEAM – Bari – octobre 2021
Gestion durable des bassins versants méditerranéens face aux impacts des changements sociétaux et climatiques

Di Costanzo Hadrien
Demographics and land use planning of Mediterranean watersheds

Hadrien Di Costanzo is a PhD student in physical geography at Avignon University. After training in environmental science at the University of Aix Marseille and then in geomatics at Sorbonne University, he begins his PhD in 2019 at the geography laboratories ESPACE UMR 7300 and LMA. His research focuses on the development of a method for monitoring the water stress in a Mediterranean context on a pilot Mediterranean watershed: the Gardon (southeast of France). This work will eventually lead to an operational tool to assist in the management of Mediterranean watersheds that can be transposed to other watersheds than the Gardon.



Summary

A gradual increase in the pressure on water resources during the 21st century is to be feared in the arid sectors of the globe. Numerous studies have observed during the 20th century a strong increase in temperatures and a decrease in precipitation in certain areas around the Mediterranean. These trends are expected to become more pronounced at the end of the 21st



century. It is therefore necessary, in theory, to expect a decrease in the quantity of water available in the Mediterranean watersheds. In addition, the population is growing. The demographic transition is a descriptive model of population growth. It appears differently in the different Mediterranean countries. Its understanding associated with tourism practices is necessary to fully grasp the issues on water demand. Following this first regional report on the water stress, the Mediterranean Gardon watershed (south-east of France) will provide a brief illustration, on a larger scale, of the implementation of a new operational approach to monitoring the water stress. This IA type methodology, currently under development, could be proposed in the long term as a tool to assist in the management of a Mediterranean watershed.

Mediterranean - Watershed - Aridity - Demography - Water resource – Water stress

Communication :

The Mediterranean climate as determined by the Kopën-Geiger classification (Beck and *al.*, 2018) (Csa and Csb) concerns a significant part of the surface area of Mediterranean territories. It is found in particular along the Mediterranean coastline, in the Iberian Peninsula, on the Maghreb coastline, in Turkey, in Greece. This climate is characterized by a structural scarcity of water from late spring to early fall. This is explained by a potential evapotranspiration higher than the rainfall during the summer period. This hydric situation, qualified as climatic aridity in the sense of De Martonne (1926), is much more marked in the south of the Mediterranean basin. The summer aridity is mainly dictated by the latitudinal displacement of the subsidence band of Hadley cells. These cells facilitate anticyclonic blocking situations during the northern summer in the northern hemisphere. In addition to this seasonal process, there is a continental, latitudinal and altitudinal gradient that explains the geography of aridity around the Mediterranean. The aridity of the climate dictates the hydrological regimes of the Mediterranean watersheds (Struglia and *al.*, 2004). In the whole area, the Mediterranean basins of Northern Europe are the most productive (representing about 70% of Mediterranean flows). Those of North Africa and the eastern shore are very little productive (together representing about 30% of Mediterranean flows). They follow a hydrological regime influenced by an aridity of desert and steppe climates that lasts longer during the year. Among the most productive Mediterranean watersheds in low water periods are the Ebro (between 500 and 1000 m³/s), the Rhone (between 1000 and 1500 m³/s), the Po (between 1000 and 1500 m³/s) and the Nile (between 1500 and 1800 m³/s). The high altitude upstream of these Mediterranean watersheds allows a significant water supply all year round.



The Mediterranean area is identified as one of the most sensitive regions to the effects of climate change (IPCC, 2021). It is defined by Giorgi (2006) as a Hot Spot of climate change. In a context of global warming (0.5 °C additional on average on the Mediterranean rim between 1951 and 2005) (Lionello and *al.*, 2012) and increasing per capita water consumption (positive population growth and increasing tourist attractiveness) the pressure on water resources has very increased in the Mediterranean area during the twentieth century. Projections on temperature change predict an increase of about 2.5°C for the end of the century accompanied by a decrease in precipitation around 40% from 2050 (Millano and *al.*, 2013). Controlling water consumption is therefore paramount, especially during low water periods. These changes

should not be without consequences for the evolution of the flows of Mediterranean watersheds (Vicente-Serrano and *al.*, 2014). If the lack of water persists, it can quickly paralyze the good functioning of a territory: agricultural losses, decreases in hydroelectric production, forest fires, *etc.* (Whilhite, 2000). Reducing the problem to a water deficit is not enough to properly alert politicians. It seems to us necessary to consider both the available water resource and the anthropic demand (Martin and *al.*, 2020); in other words, to consider the water stress (environmental supply *versus* social demand). One way to estimate it at the regional level is to use the population proxy.

The population of the Mediterranean states grew strongly between 1950 and 2020 (about 2% per year). According to national data released by the United Nations (UN), the population of the Mediterranean states would have increased from 200,000,000 inhabitants in 1950 to over 500,000,000 in 2020. This strong increase in population during the second half of the twentieth century is explained by the demographic transition model. The decrease in fertility and the increase in life expectancy at birth have not evolved in a homogeneous manner throughout the Mediterranean region. Schematically, the countries on the northern shore reached their pseudo equilibrium between 1970 and 1990. It is in the process of being completed for the southern shore, but with more singular behavior than that observed on the northern shore. For some countries, such as Algeria, Egypt and Israel, post-transitional states with a still high birth rate persist. These demographic transitions do not yet appear to be complete. They may, moreover, reflect a counter-demographic transition with a continuing high birth rate or even an increase in the birth rate. In fact, it is this southern shore that has been the main source of population growth since the 1950s. It still maintains it today, although it is slowing down (2.5% per year at the beginning of the second half of the 20th century to 1% per year from the 1990s). Conversely, on the northern shore, growth



rates are currently tending towards 0. With regard to projections, according to the median scenarios of the UN projections, the population should decrease on the north shore (about 50,000,000 inhabitants) and increase on the south shore (about 250,000,000 inhabitants). In the case of a demographic transition similar to the north for the southern shore, 200,000,000 additional inhabitants are expected as of 2050 in the Mediterranean. On the scale of the Mediterranean catchment areas, densification has been taking place since the 1970s in the Mediterranean catchment areas that are already dense, such as the Italian catchment areas, the French coastline, the Nile delta and the coastline of the eastern shore. This trend population growth must also be crossed with the tourist arrivals which during the summer period can increase the local population in the Mediterranean catchment areas. The global share of tourist arrivals in the Mediterranean represents 30% of global arrivals and grew strongly between 1995 and 2014 (3.6% per year) (UNWTO). It is mainly driven by the developed countries of the northern shore which captures about 90% of tourist flows. From the 2000s, a share of these flows began to be captured by the emerging economies (over 70% of tourist flows for the developed economies).

Solutions for monitoring the water stress can be put into practice more locally. The difficulties of measuring this water stress on a local scale are similar to those experienced on a regional scale. Even today, a precise measurement of the water stress is impossible. In the case of the Mediterranean Gardon watershed (sub-basin of the Rhône), preliminary work carried out in the framework of the thesis: *De l'impluviosité à la*

sécheresse dans le sud-est de la France entre aridité et tension sur la ressource en eau, showed the insufficiency of available data to calculate the water stress (Martin et al., 2020). It must be estimated through different proxies of water deficit and consumption. Approximating this water stress while integrating the uncertainty in the calculation (quality of measurements, proxies, etc.) seems possible by using a probabilistic approach called Bayesian network. The purpose of this approach is to clarify the situation from the information we have on the Mediterranean catchment area in order to better pilot water resource management policies (prefectoral decree, hydraulic developments, etc.)

In sum, water resources around the Mediterranean have decreased during the twentieth century. On the other hand, the population has grown rapidly until the 1990s and remains sustained. This increase in population combined with an increase in tourism concentrated during the arid period raises the question of maintaining access to water without an explosion of conflicts of use. In the



medium and long term, aridity is expected to increase much more than what was observed in the last century and the population is expected to increase by 200,000,000 inhabitants according to UN scenarios. If the water stress is expected to increase, the main challenge is to accurately measure this pressure. This requires a better knowledge of water consumption in the Mediterranean catchment areas and a better understanding of hydrological processes in periods of drought to quantify the resource.



References:

Beck, H. E. and al. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Sci Data* 5, 180214 (2018).

Martonne, E. Aréisme et indice d'aridité. *Comptes rendus Académie des Sciences* 181, 1395–1398 (1926).

Struglia, M. V., Mariotti, A. & Filograsso, A. River Discharge into the Mediterranean Sea: Climatology and Aspects of the Observed Variability. *Journal of Climate* 17, 4740–4751 (2004).

Lionello, P. and al. Introduction: Mediterranean Climate—Background Information. in *The Climate of the Mediterranean Region xxxv–xc* (Elsevier, 2012). doi:10.1016/B978-0-12-416042-2.00012-4.

Giorgi, F. Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters* 33, (2006).

Milano, M. and al. Current state of Mediterranean water resources and future trends under climatic and anthropogenic changes. *Hydrological Sciences Journal* 58, 498–518 (2013).

Wilhite, D. A. Chapter 1 Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions. 22 (2000).

Vicente-Serrano, S. M. and al. Evidence of increasing drought severity caused by temperature rise in southern Europe. *Environ. Res. Lett.* 9, 044001 (2014).

Martin, P., Di Costanzo, H. & Canovas, I. Aridité et sécheresse : heuristique d'une modélisation parétienne et bayésienne de la tension sur la ressource en eau dans le sud-est de la France. *Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement* 2, (2020).

Parménides IX : gestion soutenable des bassins versants méditerranéens face aux impacts des changements sociétaux et climatiques

Aménagement et démographie des bassins versants méditerranéens

Hadrien Di Costanzo¹

¹UMR 7300 ESPACE

Doctorant en géographie

Sous la direction de P. Martin (ESPACE) et D. Blanke (LMA)

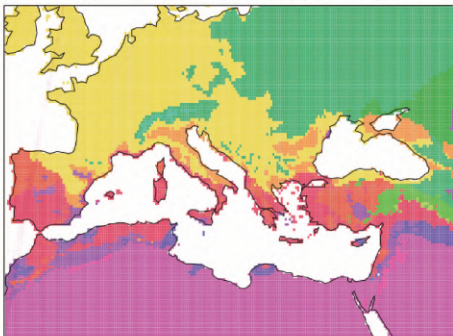
hadrien.di-costanzo@univ-avignon.fr

19 octobre 2021, Bari



Le climat méditerranéen

La typologie des climats Koppën-Geiger



BSh BSk BWh BWk Csa Csb Cfa Cfb Dsa Dsb Dfa Dfb ET

Climats désertiques
et steppiques

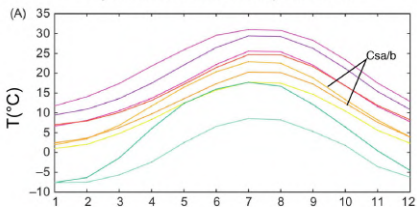
Climats
méditerranéens

Climats tempérés humides et
continentaux

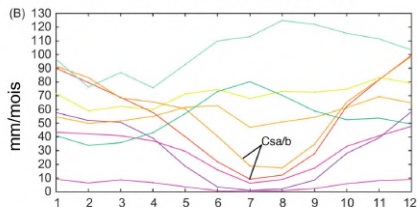
D'après Lionello et al., (2012) (modifiés). Données CRU (1961-1990).

Le climat méditerranéen

Cycle annuel des températures



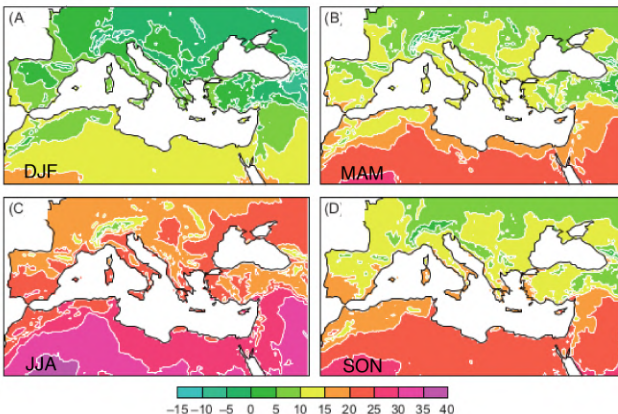
Cycle annuel des précipitations



D'après Lionello et al., (2012) (modifiés). Données CRU (1961-1990).

Ressources en eaux sur le pourtour méditerranéen (1) : précipitations et températures

Températures moyennes saisonnières

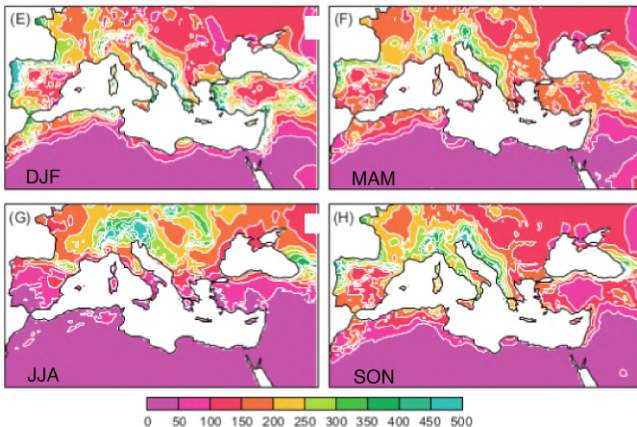


°C

D'après Lionello et al., (2012) (modifié). Données CRU (1961-1990)

Ressources en eaux sur le pourtour méditerranéen (1) : précipitations et températures

Précipitations moyennes saisonnières

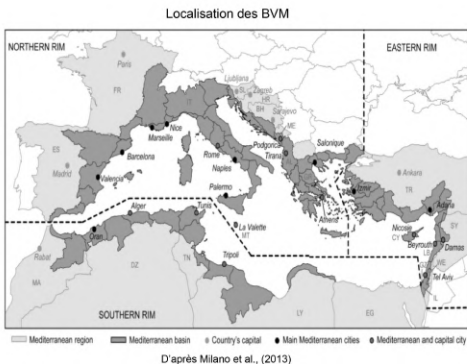


mm/saison

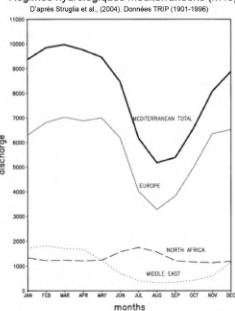
D'après Lionello et al., (2012) (modifié). Données CRU (1961-1990)



Ressources en eaux sur le pourtour méditerranéen (2) : les bassins versants méditerranéens (BVM)

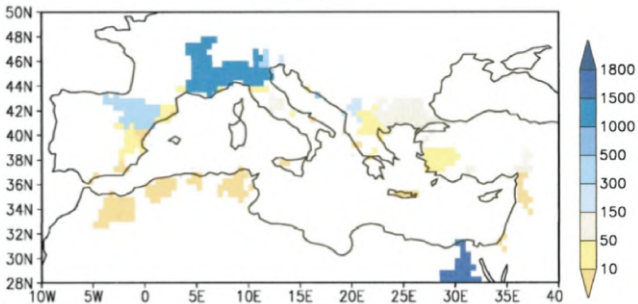


Régimes hydrologiques méditerranéens (m³/s)



Ressources en eaux sur le pourtour méditerranéen (3) : les bassins versants méditerranéens (BVM)

Débits climatiques des BVM (m³/s) Summer

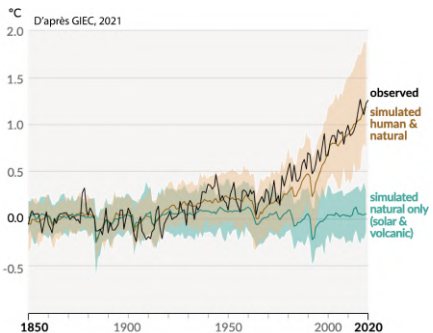


D'après Struglia et al., (2004). Données TRIP (1901-1996).

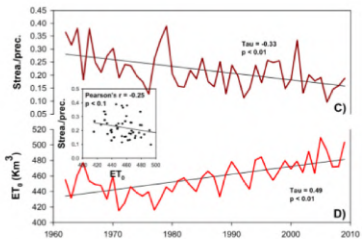
Évolution de l'aridité au cours du XX^e siècle ?

Probablement une des régions les plus "sensibles" aux effets du changement climatique (GIEC, 2021). Défini comme un **Hot Spot** spot du changement climatique par Giorgi (2006).

- **Faible diminution** globale des **précipitations** observées. **Pas de consensus** dans la littérature. Significatives annuellement sur la Grèce, Italie et sur des périodes de temps spécifiques sur quelques secteurs (mois d'hiver en particulier) dans l'étude de Norrant et Douguedroit (2006).
- Une **augmentation** des **températures** observées (Lionello et al., 2012) de l'ordre de **0,5°C** sur la quasi totalité du pourtour méditerranéen.

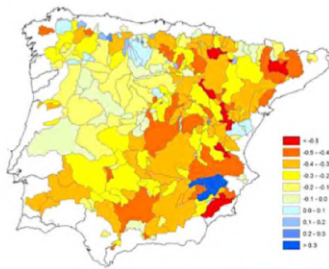


Évolution de la ressource attendue au cours du XXI^e siècle (1)



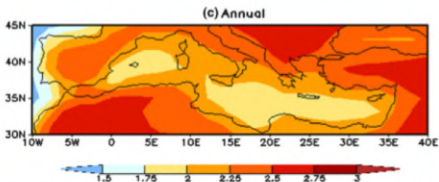
D'après Vicente-Serrano et al., (2014).

Tendance du coefficient de ruissellement et de l'évapotranspiration sur l'ensemble des BVM de la péninsule ibérique



D'après Vicente-Serrano et al., (2014).

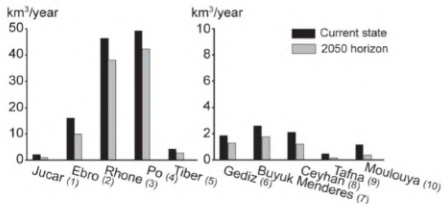
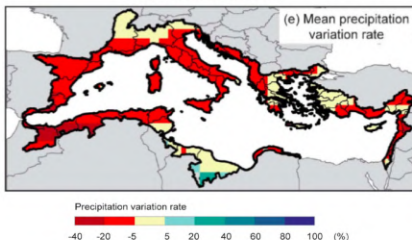
Corrélation entre le coefficient de ruissellement et l'évapotranspiration



D'après Mariotti et al., (2015). Anomalies de température de surface ($^{\circ}\text{C}$) 2071-2098 par rapport à la période de référence 1980-2005. CMIP5, RCP4.5.

Évolution de la ressource attendue au cours du XXI^e siècle (2)

D'après Milano et al., (2013)



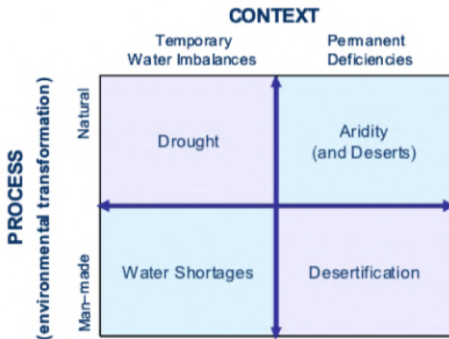
Evolution des précipitations moyennes en 2050 par rapport à la période 1971-1990.
Moyennes des résultats (scénario A2) de 4 MCG (CSIRO-MK3.0, HadCM3, CNRM-CM3, ECHAM5)

Et l'être humain dans tout ça ?

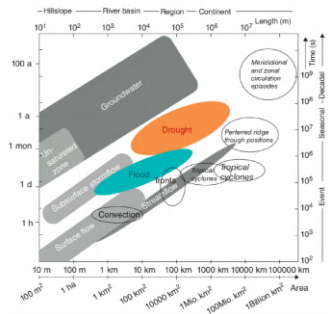
Infographie : Milan Presse, France Télévision



La tension sur la ressource en eau

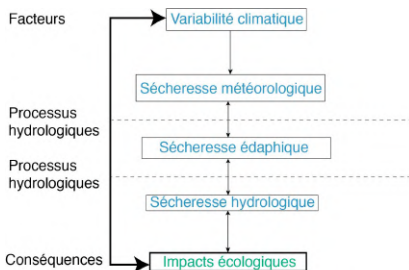


D'après Vlachos (1982)



D'après Stahl et Hisdal (2004)

Cycle hydrologique naturel et anthropique



D'après Van Loon et al., (2016) (modifié)

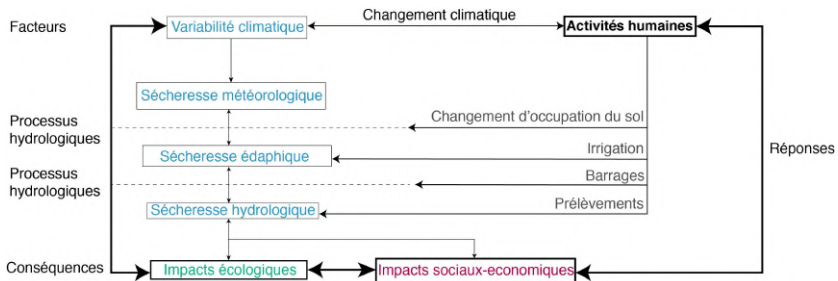


Barrage de Sénéchas sur le Gardon d'Alès, département du Gard.



Canal de Provence, département du Vaucluse.

Cycle hydrologique naturel et anthropique



D'après Van Loon et al., (2016) (modifié)

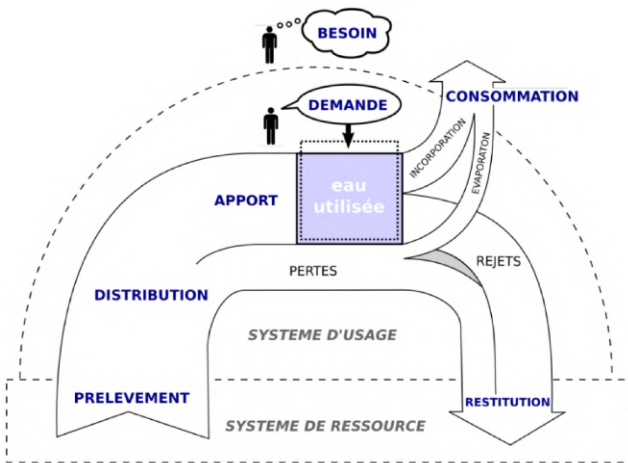


Barrage de Sénéchas sur le Gardon d'Alès, département du Gard.



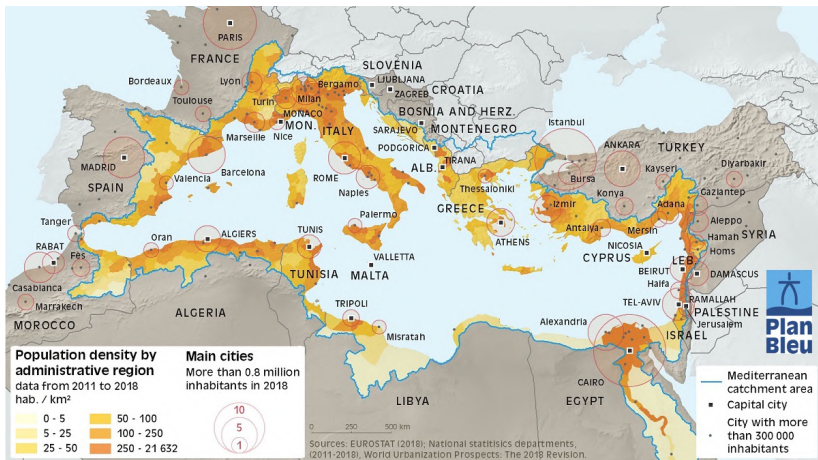
Canal de Provence, département du Vaucluse.

L'usage de l'eau par une société

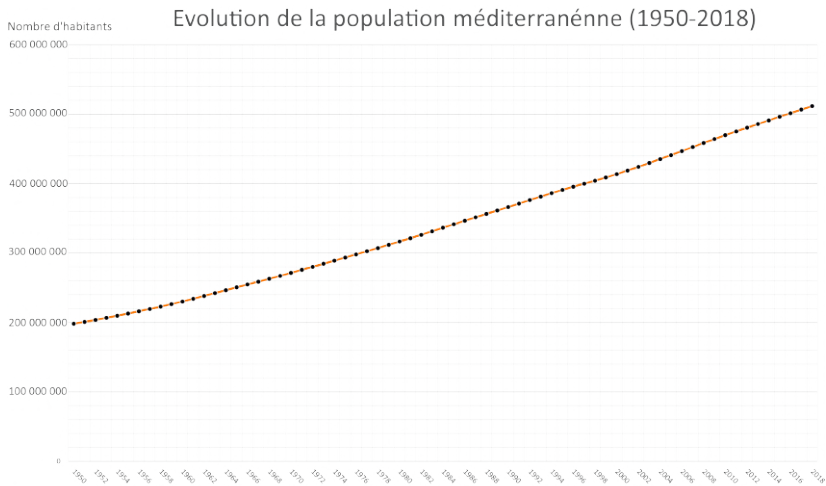


D'après Caliano et al., (2017). Concept du cycle d'usage de l'eau.

Densité de population actuel (2018) sur les BVM

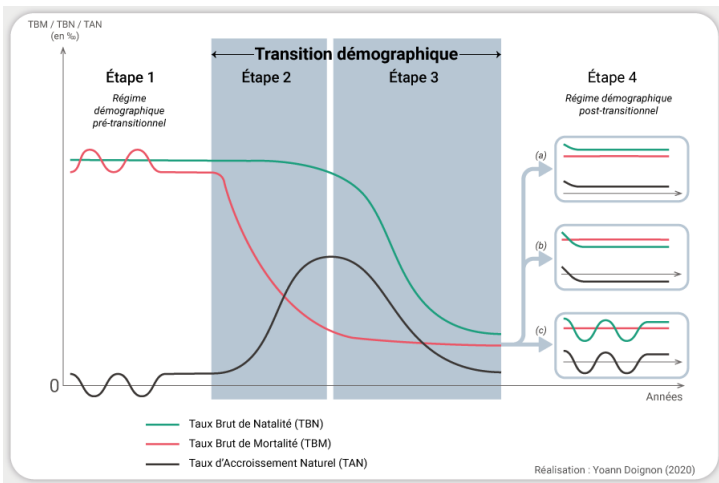


Évolution de la population méditerranéenne depuis 1950

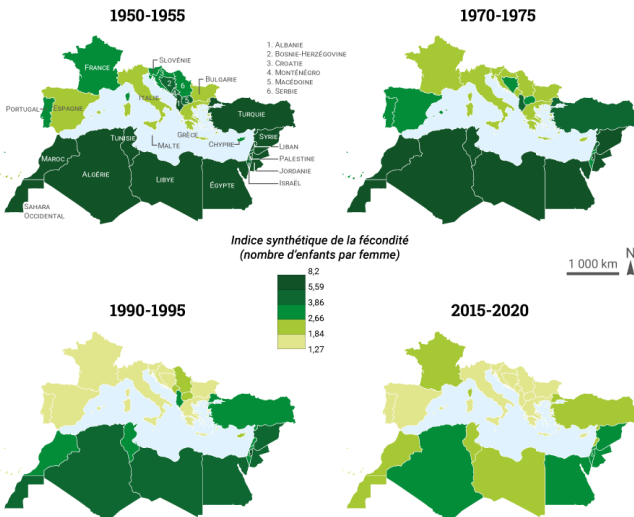


Populations annuelles des pays méditerranéens estimées par les Nations Unies. Algérie, Egypte, Libye, Maroc, Tunisie, Chypre, Israël, Liban, Palestine, Syrie, Turquie, Albanie, Bosnie-Herzégovine, Croatie, Grèce, Italie, Malte, Monténégro, Macédoine du Nord, Serbie, Slovaquie, Espagne, France.

Transition démographique (1) : modèle descriptif

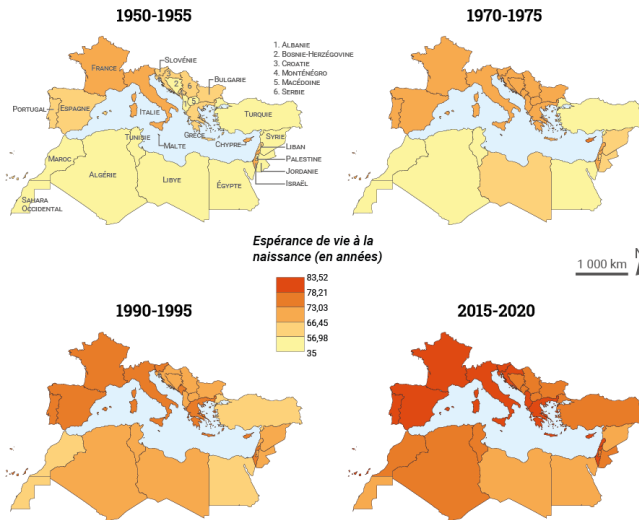


Transition démographique (3) : dichotomie nord/sud



Réalisation : Yoann Dignon (2020)
Source des données : World Population Prospects: the 2019 revision

Transition démographique (3) : dichotomie nord/sud

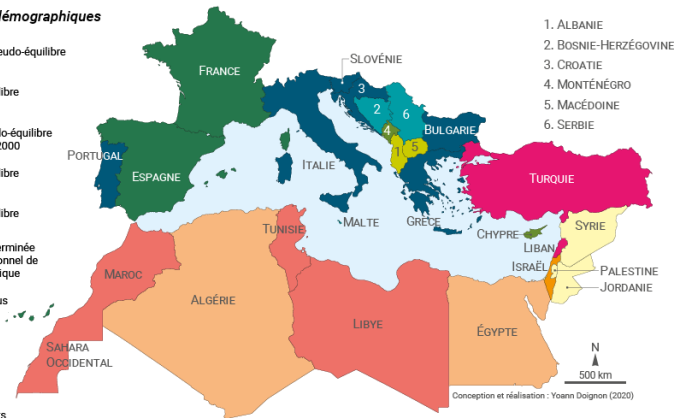


Réalisation : Yoann Doignon (2020)
Source des données : World Population Prospects: the 2019 revision

Des transitions démographiques (4) : variété des trajectoires à l'échelle nationale

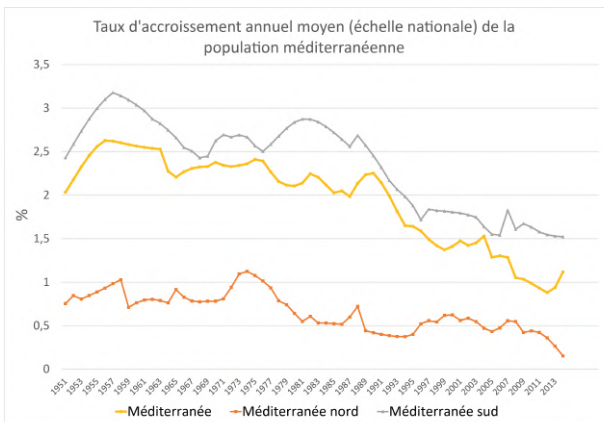
Typologie des transitions démographiques

- Transition ancienne avec pseudo-équilibre dans les années 1970
- Transition avec pseudo-équilibre à la fin des années 1990
- Transition rapide avec pseudo-équilibre tardif au milieu des années 2000
- Transition avec pseudo-équilibre dans les années 1980-1990
- Transition avec pseudo-équilibre dans les années 2000
- Transition démographique terminée avec un régime post-transitionnel de forte croissance démographique
- Transition en fin de processus
- Transition terminée ?
- Des contre-transitions démographiques ?
- Transition récente et en cours, baisse plus lente de la natalité



Conception et réalisation : Yoann Doignon (2020)

Croissance de la population méditerranéenne depuis 1950

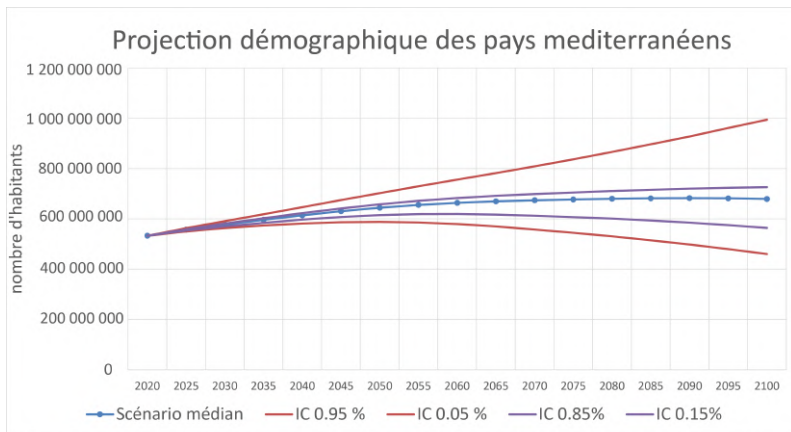


Estimés à partir des données UN pour l'ensemble des pays méditerranéens ayant un suivi depuis 1950.

(Algérie, Egypte, Libye, Maroque, Tunisie, Chypre, Israel, Liban, Palestine,

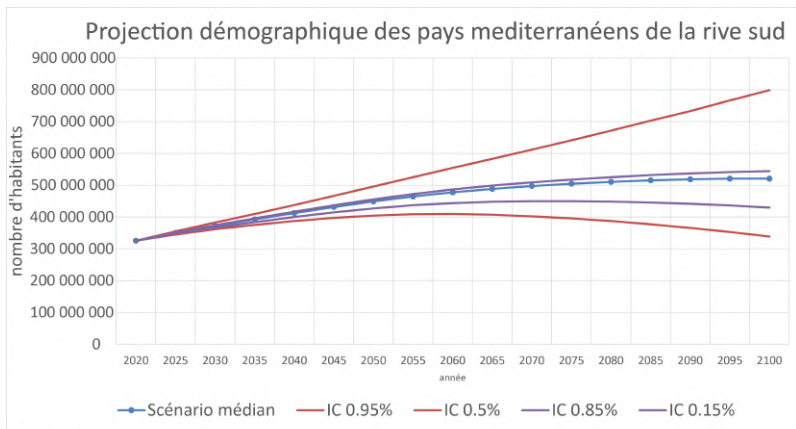
Syrie, Turquie, Albanie, Bosnie-Herzégovie, Croatie, Grèce, Italie, Malte, Montenegro, Macédoine du Nord, Serbie, Slovénie, Espagne, France.)

Quelles évolutions futures de la population méditerranéenne ?



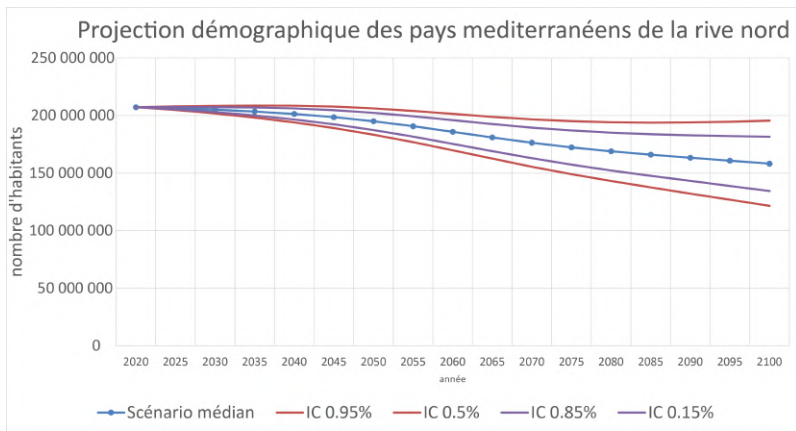
Source WPP 2019 : Algérie, Egypte, Libye, Maroque, Tunisie, Chypre, Israel, Liban, Palestine, Syrie, Turquie, Albanie, Bosnie-Herzégovie, Grèce, Italie, Malte, Monténégro, Macédoine du Nord, Serbie, Espagne, France.

Quelles évolutions futures de la population méditerranéenne ?



Source WPP 2019 : Algérie, Egypte, Libye, Maroque, Tunisie, Chypre, Israel, Liban, Palestine, Syrie, Turquie, Albanie, Bosnie-Herzégovie, Grèce, Italie, Malte, Monténégro, Macédoine du Nord, Serbie, Espagne, France.

Quelles évolutions futures de la population méditerranéenne ?



Source WPP 2019 : Algérie, Egypte, Libye, Maroque, Tunisie, Chypre, Israel, Liban, Palestine, Syrie, Turquie, Albanie, Bosnie-Herzégovie, Grèce, Italie, Malte, Monténégro, Macédoine du Nord, Serbie, Espagne, France.

Un constat national représentatif à l'échelle des BVM ?

Actuellement une source harmonisée de données sur la population à l'échelle subnationale pour le suivi historique de la population (1970-2000).

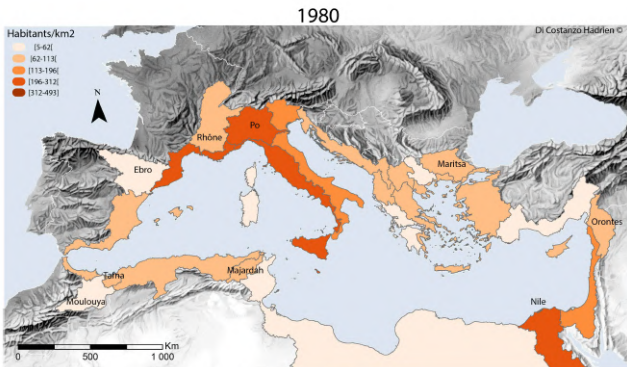
- Méthode d'estimation basée en grande partie sur l'imagerie satellite.
- Mais existe des écarts entre comptes nationaux UN et SEDAC.
- Possibilité de recalibrer cette donnée ? Satisfaisant plus localement ? En tendance (spatiale et temporelle) ?
- Converge tous de même dans le temps vers des tendances similaires aux données UN.



Un constat national représentatif à l'échelle des BVM ?

Actuellement une source harmonisée de données sur la population à l'échelle subnationale pour le suivi historique de la population (1970-2000).

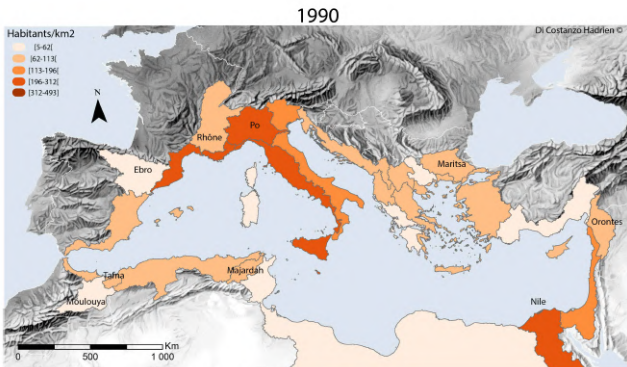
- Méthode d'estimation basée en grande partie sur l'imagerie satellite.
- Mais existe des écarts entre comptes nationaux UN et SEDAC.
- Possibilité de recalibrer cette donnée ? Satisfaisant plus localement ? En tendance (spatiale et temporelle) ?
- Converge tous de même dans le temps vers des tendances similaires aux données UN.



Un constat national représentatif à l'échelle des BVM ?

Actuellement une source harmonisée de données sur la population à l'échelle subnationale pour le suivi historique de la population (1970-2000).

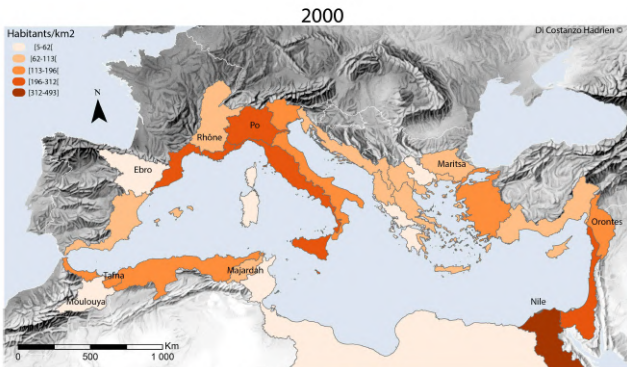
- Méthode d'estimation basée en grande partie sur l'imagerie satellite.
- Mais existe des écarts entre comptes nationaux UN et SEDAC.
- Possibilité de recalibrer cette donnée ? Satisfaisant plus localement ? En tendance (spatiale et temporelle) ?
- Converge tous de même dans le temps vers des tendances similaires aux données UN.



Un constat national représentatif à l'échelle des BVM ?

Actuellement une source harmonisée de données sur la population à l'échelle subnationale pour le suivi historique de la population (1970-2000).

- Méthode d'estimation basée en grande partie sur l'imagerie satellite.
- Mais existe des écarts entre comptes nationaux UN et SEDAC.
- Possibilité de recalibrer cette donnée ? Satisfaisant plus localement ? En tendance (spatiale et temporelle) ?
- Converge tous de même dans le temps vers des tendances similaires aux données UN.



Le poids des migrations sur la population : différentes formes

Plus compliqué à estimer (passé, futur) que la croissance naturelle de la population :

- interne au pays (e.g. **littoralisation**). Rural vers centre urbain (**littoral urbanisé**).
- Migrations pendulaires (navettes domiciles travaux). **Fort impact local des migrations saisonnières touristiques** (e.g. Département du Var reçoit en touriste l'équivalent de 76% de sa population durant l'année 2005 soit **53 % au cours de la saison estivale** (source INSEE))
- Migrations climatiques ? Réfugiés géopolitiques (e.g. crise syrienne) ? Impact ponctuellement l'évolution de la population.

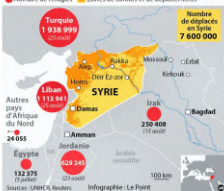


Infographie : Milan Presse, France Télévisions

Plus de 4 millions de réfugiés syriens

Sur 22 millions d'habitants en Syrie

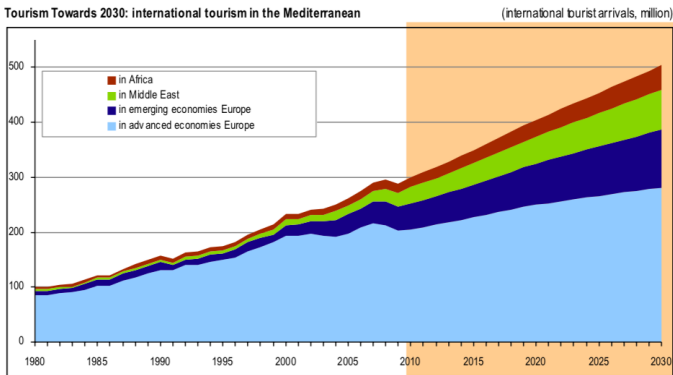
● Nombre de réfugiés ● Zones de conflits et de déplacements



Évolution des arrivées touristiques : situations passées, futures et actuelles estimées

Pour l'année 2015 (source : UNWTO) :

- plus de 342 millions de touristes ;
- qui correspond à environs 30 % du tourisme mondial ;
- une augmentation + 3,6 %/an entre 1995 et 2014 ;
- 10 millions de touristes supplémentaires attendus d'ici 2030.



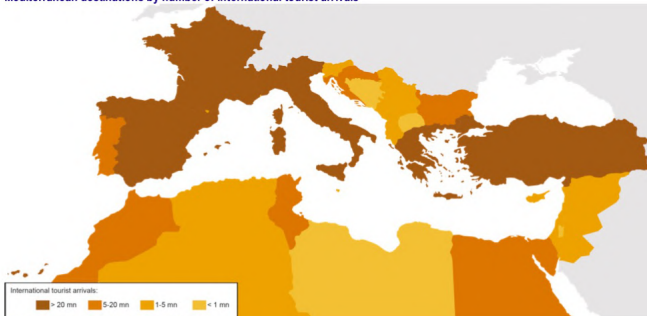
Source: World Tourism Organization (UNWTO) ©

Évolution des arrivées touristiques : situations passées, futures et actuelles estimées

Pour l'année 2015 (source : UNWTO) :

- plus de 342 millions de touristes ;
- qui correspond à environs 30 % du tourisme mondial ;
- une augmentation + 3,6 %/an entre 1995 et 2014 ;
- 10 millions de touristes supplémentaires attendus d'ici 2030.

Mediterranean destinations by number of international tourist arrivals

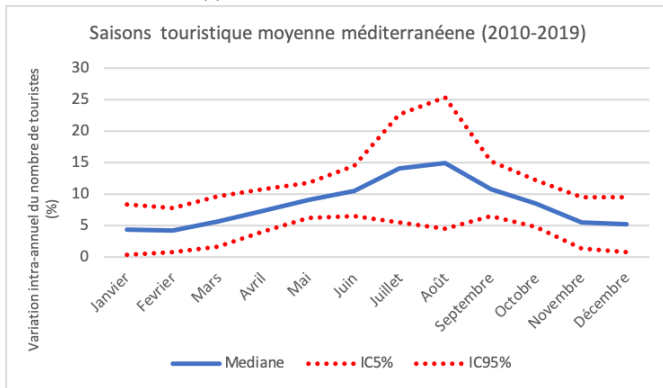


Source: World Tourism Organization (UNWTO) ©

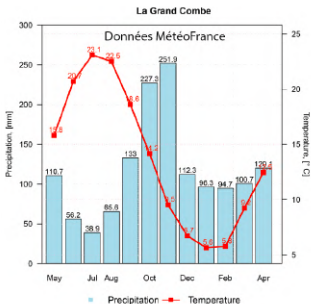
Évolution des arrivées touristiques : situations passées, futures et actuelles estimées

Pour l'année 2015 (source : UNWTO) :

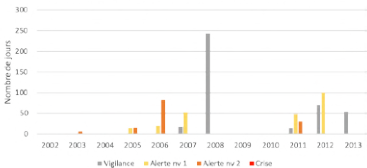
- plus de 342 millions de touristes;
- qui correspond à environs 30 % du tourisme mondial;
- une augmentation + 3,6 %/an entre 1995 et 2014;
- 10 millions de touristes supplémentaires attendus d'ici 2030.



Le BVM du Gardon



Arrêtés sécheresse sur le bassin amont des Gardons



Vulnérabilité au changement climatique pour l'enjeu disponibilité en eau

Incidences du changement climatique sur les déséquilibres quantitatifs superficiels en situation d'étiage (compte tenu des aménagements actuels)



■ bassins vulnérables nécessitant des actions fortes d'adaptation au changement climatique

■ bassins vulnérables nécessitant des actions génériques d'adaptation au changement climatique

Barres horizontales : répartition des résultats selon les 14 scénarios proposés (7 modèles climatiques et 2 modèles hydrologiques).

Fond de carte : vulnérabilité élevée (degré 4 ou 5) pour plus de la moitié des projections.

↻ principaux transferts inter bassins



D'après plan de bassin d'adaptation au changement climatique dans le domaine de l'eau, 2014.

Calculer la tension sur la ressource en eau localement



$$\text{Tension} = \frac{\text{Ressource disponible}}{\text{Consommation}}$$

Calculer la tension sur la ressource en eau localement



$$\text{Tension} = \frac{\text{Ressource disponible}}{\text{Consommation}}$$



$$\text{Tension} = \frac{[Q + ETR = P + \Delta R]}{[Ca + Ce + Ci]}$$

Calculer la tension sur la ressource en eau localement



$$\text{Tension} = \frac{\text{Ressource disponible}}{\text{Consommation}}$$



$$\text{Tension} = \frac{[Q + ETR = P + \Delta R]}{[Ca + Ce + Ci]}$$

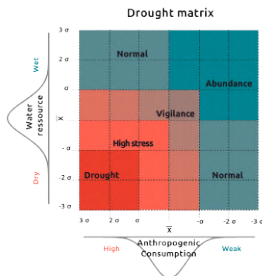
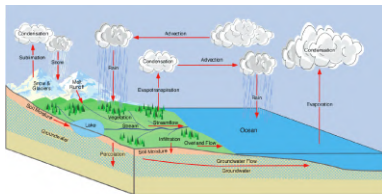
- Mais difficile de déterminer avec précision les différents terme du bilan... De grandes incertitudes sur la qualité des données de prélèvement/consommation et en nombre insuffisant (Martin, Di Costanzo et Canovas, 2021).

Calculer la tension sur la ressource en eau localement

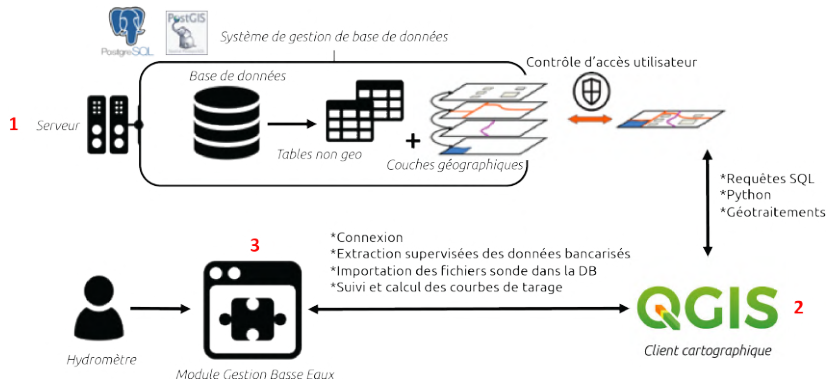
$$\text{Tension} = \frac{\text{Ressource disponible}}{\text{Consommation}}$$

$$\text{Tension} = \frac{[Q + ETR = P + \Delta R]}{[Ca + Ce + C]}$$

- Mais difficile de déterminer avec précision les différents terme du bilan... De grandes incertitudes sur la qualité des données de prélèvement/consommation et en nombre insuffisant (Martin, Di Costanzo et Canovas, 2021).



Du Système d'Information Géographique à l'Expert Decision Support Système



Estimation du déficit hydrique et de la demande en eau

Types de sécheresse

Sécheresse atmosphérique



Données

Stations Météo France

Variables

P (mm), ETP (mm)
en quotidien 1850/2020

Indicateurs

Séquences sèches (nb jours)
(Peiris, 2011) à partir des
précipitations utiles

Sécheresse édaphique



MODIS Terra (Running et al., 2019)

ETR (mm), ETP (mm), NDVI (%) -
2000/2020, 500 m²

VCI (%) (Kogan, 1985),
DE (%)

Sécheresse hydrologique



Stations programme HydroPop et
Banque Hydro

Q (l/s) en quotidien - 2015/2021

Anomalie de Q (%),
Coefficient de tarissement

Demande sociale en eau



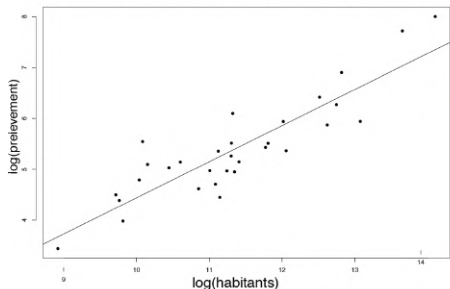
Banque Nationale des Prélèvements d'Eau,
Recensement de la population INSEE,
Recensement agricole AGRESTE.

Types de cultures (hec) - 1972/2013,
Population (habitant) - 1968/2015,
Prélèvements (>10 000 m³/an) - 1997/2019

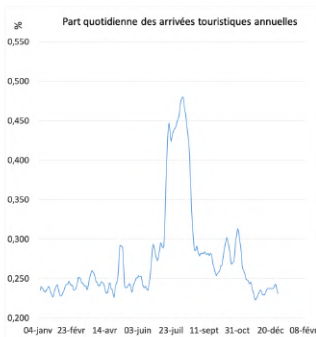
Demande (l/j)
AEP/Agricole (Allen et al., 1998)
- 2003/2020
Prélèvements (l/j) AEP/Agricole
2003/2020 (EVF, 2018)

Estimation du déficit hydrique et de la demande en eau

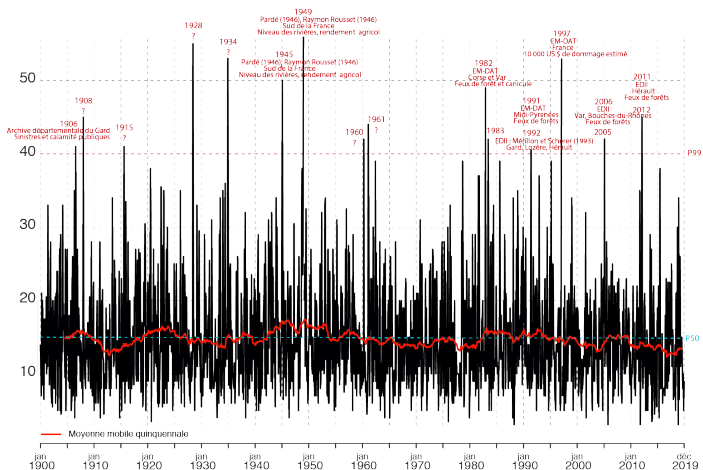
Prélèvement moyen communal (1993-2018) m³/an vs population communale



Sources : INSEE et BNPE



Estimation du déficit hydrique et de la demande en eau



Evolution des sécheresses atmosphériques (séquences sèches) sur le Gardon (Di Costanzo, 2021. Soumis)

Conclusions et discussion :

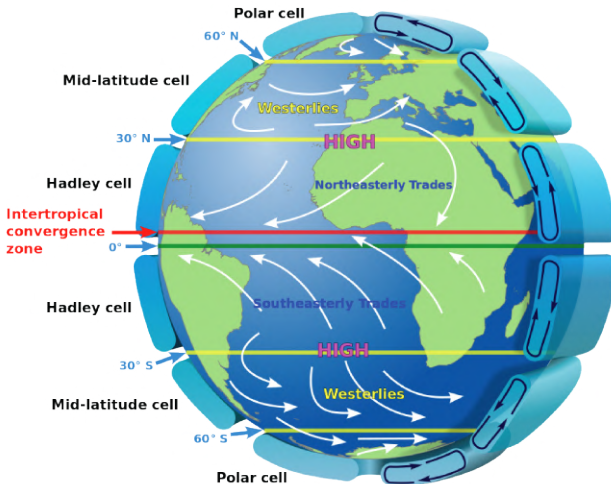
- Une ressource qui a **diminuée** au cours du XX^e siècle (augmentation de l'**évaporation**)
- Une population estimable (harmonisé entre pays) à l'échelle des BVM méditerranéens possible à partir des données de recensements récents. Pour un suivi plus ancien uniquement les données SEDAC.
- La population : un proxy pour estimer la demande en eau à une échelle régionale.
- Un accroissement rapide des populations jusque dans les années 90 (2%) puis qui ralenti (1%).
- Un **tourisme** qui **augmente** et qui se distribue dans l'année majoritairement **durant la période aride** avec une activité **de plus en plus importante** dans les économies émergentes (sud et nord).

Conclusions et discussion :

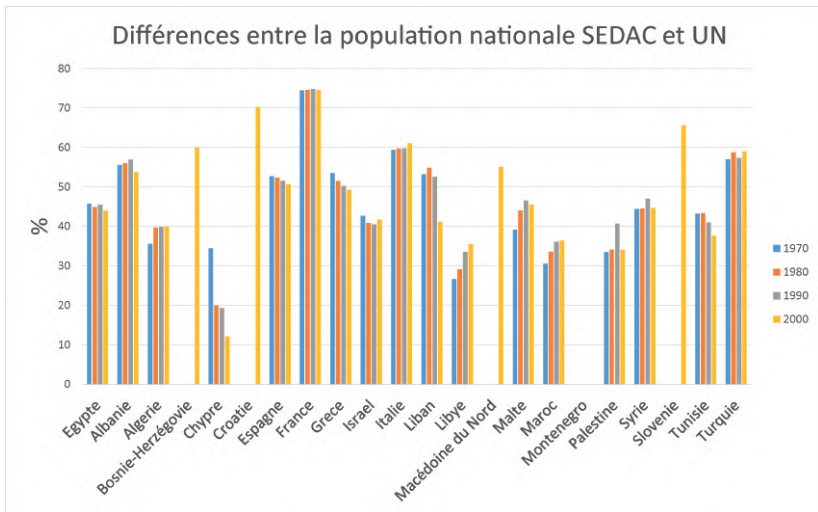
- Une diminution de la ressource qui va probablement être beaucoup plus marqué au cours du XXI^e siècle (**+2 à +3 °C** et **environs 20%** de diminution des **pluies** sur les principaux BVM).
- Une **croissance** surtout portée par la **rive sud** de la méditerranée qui **pourrait s'infléchir vers 2050**. Mais **sous condition d'une baisse générale de la fécondité...**
- Une population qui devrait tendre vers **700 000 000** d'habitants **d'après les UN**.
- Des **signes d'une augmentation** de la demande en eau mais **beaucoup d'incertitudes** pour la chiffrer précisément...
- Une information très **difficilement mesurable** tant pour les petites échelles géographiques (**régionales**) qu' intermédiaires (**intranationales**).
- Besoin d'une harmonisation des données (méthode de recensement non comparable entre pays).
- Plus d'information à l'échelle du BVM (cas de la France) mais encore de nombreuses incertitudes sur la qualité et la disponibilité des données... Utilisation d'une **approche probabiliste**.



Annexe 1 : circulation d'Hadley



Annexe 2 : comparaison population nationale SEDAC et UN



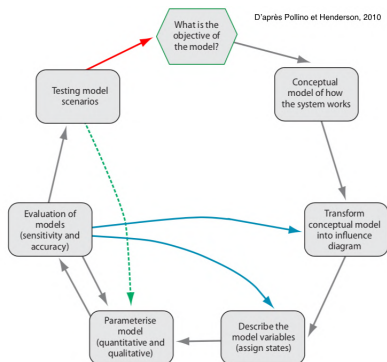
Annexe 3 : scénarios WPP

<i>Projection variants</i>	<i>Assumptions</i>		
	<i>Fertility</i>	<i>Mortality</i>	<i>International migration</i>
Low fertility	Low	Normal	Normal
Medium fertility	Medium (based on median probabilistic fertility)	Normal (based on median probabilistic mortality)	Normal
High fertility	High	Normal	Normal
Constant-fertility	Constant as of 2015-2020	Normal	Normal
Instant-replacement-fertility	Instant-replacement as of 2020-2025	Normal	Normal
Momentum	Instant-replacement as of 2020-2025	Constant as of 2015-2020	Zero from 2020-2025
Constant-mortality	Medium	Constant as of 2015-2020	Normal
No change	Constant as of 2015-2020	Constant as of 2015-2020	Normal
Zero-migration	Medium	Normal	Zero from 2020-2025

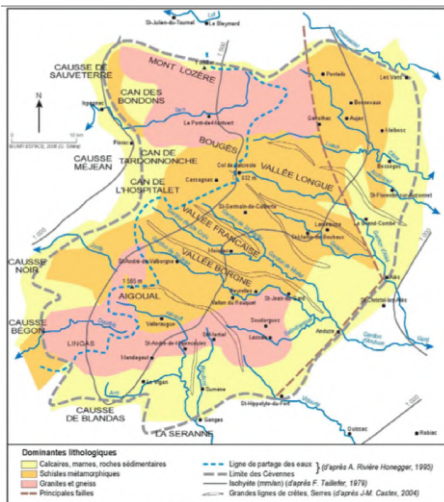
D'après WPP, 2019. Hypothèses sous-jacentes aux neuf types de projections.

Annexe 4 : les réseaux bayésiens, une approche probabiliste du calcul de la tension sur la ressource en eau

- Un modèle statistique multivarié.
- Méthode aussi utilisée par le WPP pour les projections démographiques.
- Raisonner sous forme de probabilité et non plus en bilan de masse.
- Intégrer l'incertitude des données dans toute la chaîne de calcul.
- Permet une estimation probabiliste de la tension sur la ressource en eau.
- Permet le calcul d'indice (probabilités conjointes des distributions des indicateurs de sécheresse)
- Permet des à priori de dire d'expert dans le modèle.
- Tester des politiques de gestion de l'eau.
- Garder l'effet de l'incertitude lors des différents étapes de calcul sur le résultat final



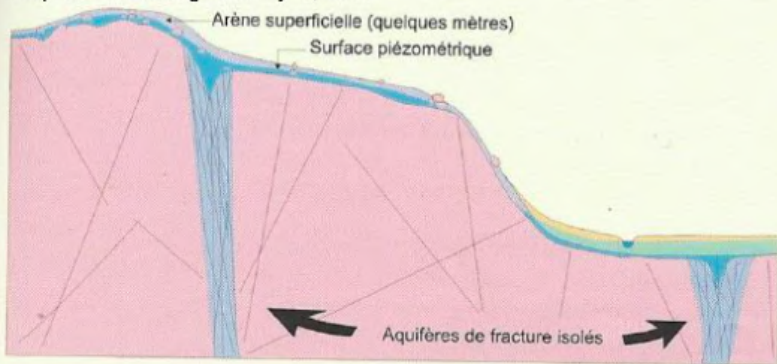
Annexe 5 : caractéristiques géologiques du BVM des Gardons



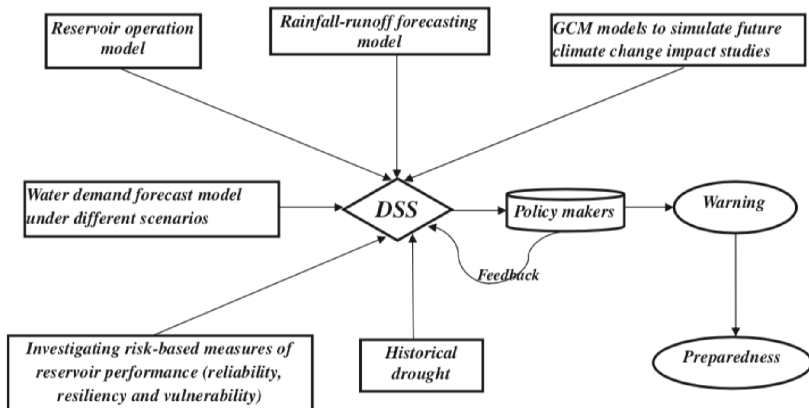
Réalisation G. Sillère

Annexe 5 : caractéristiques géologiques du BVM des Gardons

D'après Lachassagne et Wyns, 2005



Annexe 6 : caractéristiques géologiques du BVM des Gardons



D'après Mishra et Singh, 2004