



**HAL**  
open science

# Aménagement et démographie des bassins versants méditerranéens

H. Di Costanzo

► **To cite this version:**

H. Di Costanzo. Aménagement et démographie des bassins versants méditerranéens. Parmenides IX : gestion soutenable des bassins versants méditerranéens face aux impacts des changements sociétaux et climatiques, Oct 2021, Bari, France. hal-03426599

**HAL Id: hal-03426599**

**<https://hal.science/hal-03426599>**

Submitted on 12 Nov 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# 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 Costanzo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UMR 7300 ESPACE

Doctorant en géographie

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

hadrien.di-costanzo@univ-avignon.fr

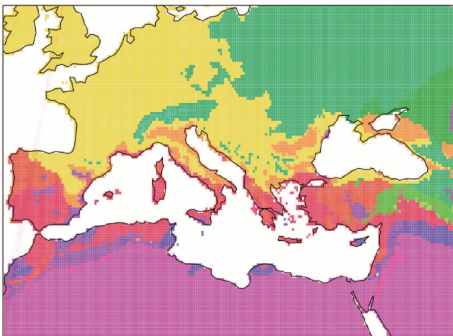
19 octobre 2021, Bari





# 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

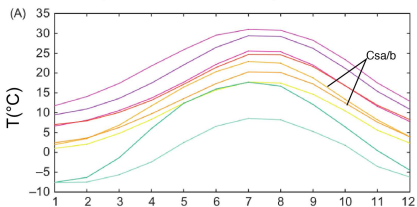
Climats  
méditerranéens

Climats tempérés humides et  
continentaux

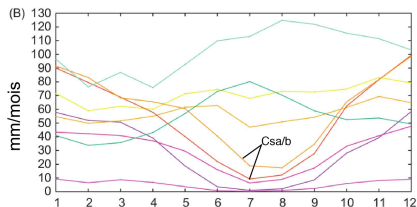
D'après Lionello et al., (2012) (modifiés). Données CRU (1961-1990).

# Le climat méditerranéen

## Cycle annuel des températures



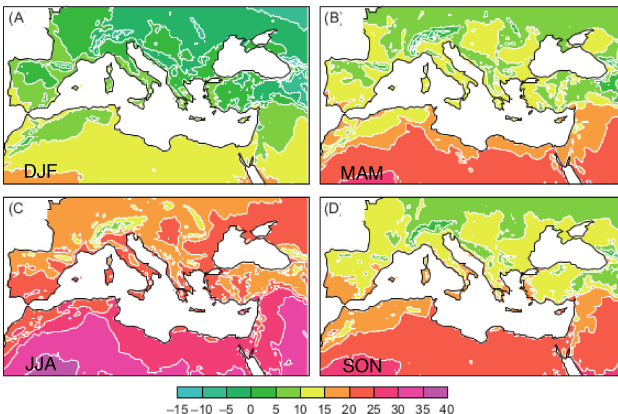
## Cycle annuel des précipitations



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

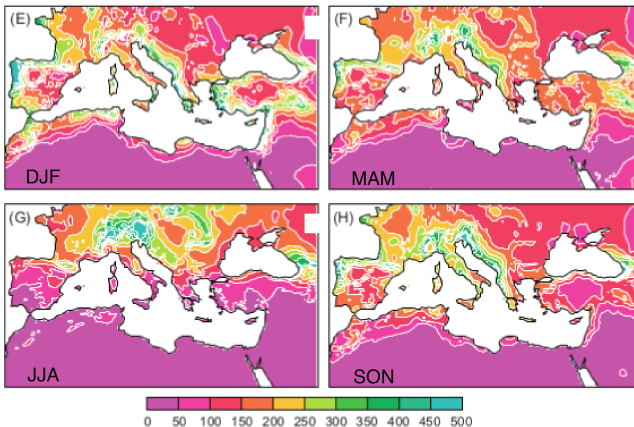


°C

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

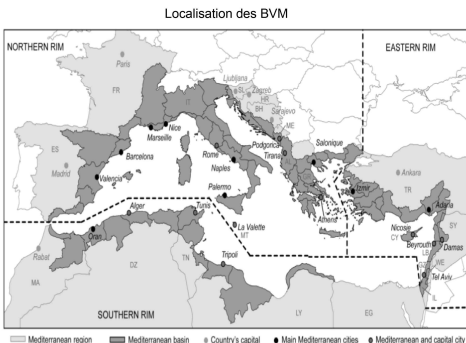


mm/saison

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



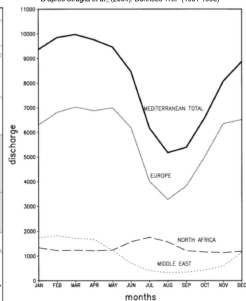
# Ressources en eaux sur le pourtour méditerranéen (2) : les bassins versants méditerranéens (BVM)



D'après Milano et al., (2013)

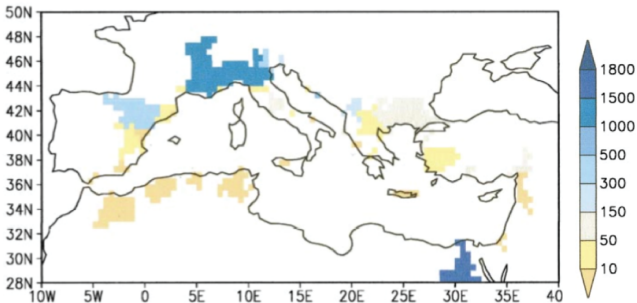
## Régimes hydrologiques méditerranéens (m<sup>3</sup>/s)

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



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

### Débits climatiques des BVM (m<sup>3</sup>/s) Summer

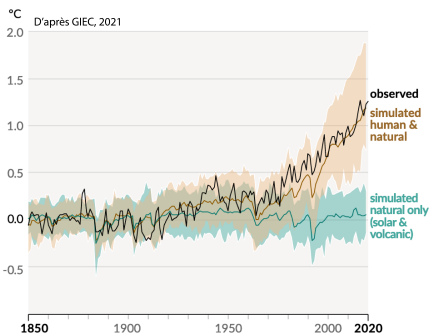


D'après Struglia et al., (2004). Données TRIP (1901-1996).

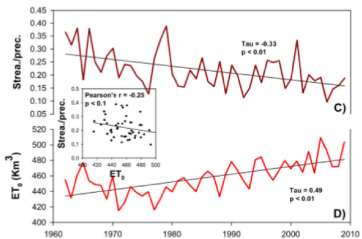
## Évolution de l'aridité au cours du XX<sup>e</sup> siècle ?

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.

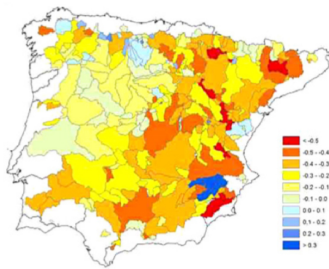


# Évolution de la ressource attendue au cours du XXI<sup>e</sup> siècle (1)



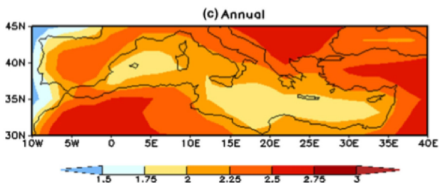
D'après Vicente-Serrano et al., (2014).

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

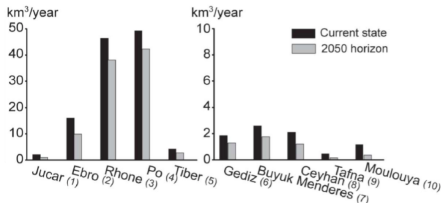
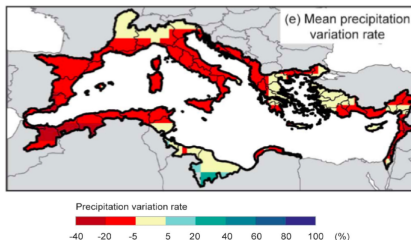


D'après Mariotti et al., (2015). Anomalies de température de surface (°C) 2071-2098 par rapport à la période de référence 1980-2005. CMIP5, RCP4.5.



# Évolution de la ressource attendue au cours du XXI<sup>e</sup> siècle (2)

D'après Millano et al., (2013)



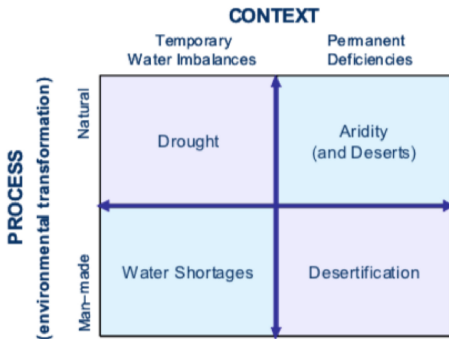
Evolution des précipitations moyennes en 2050 par rapport à la période 1971-1990.  
Moyennes des résultats (scénario A2) de 4 MCG (CSIRO-MK3.0, HadCM3, CNRM-CM3, ECHAM5)

# Et l'être humain dans tout ça ?

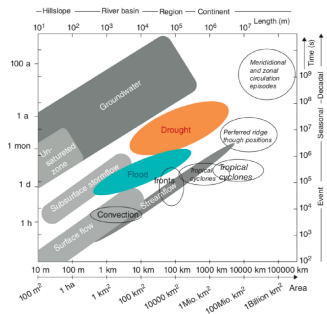
Infographie : Milan Presse, France Télévision



# La tension sur la ressource en eau

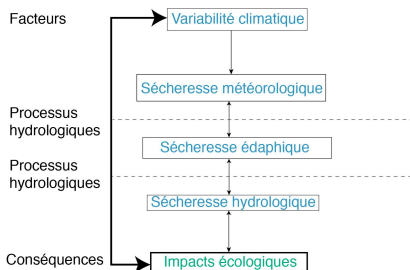


D'après Vlachos (1982)



D'après Stahl et Hisdal (2004)

# Cycle hydrologique naturel et anthropique



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

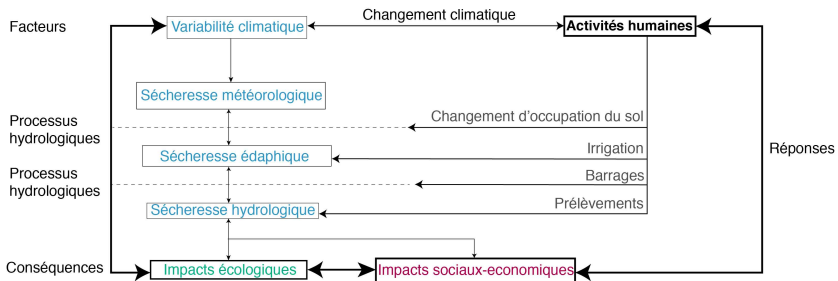


Barrage de Sénéchas sur le Gardon d'Alès, département du Gard.



Canal de Provence, département du Vaucluse.

# Cycle hydrologique naturel et anthropique



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

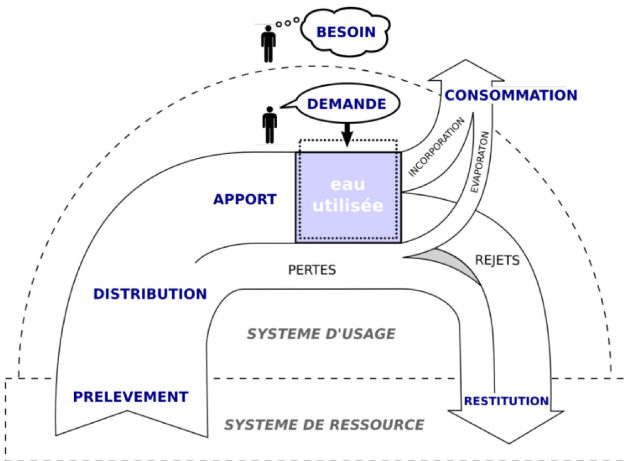


Barrage de Sénéchas sur le Gardon d'Alès, département du Gard.



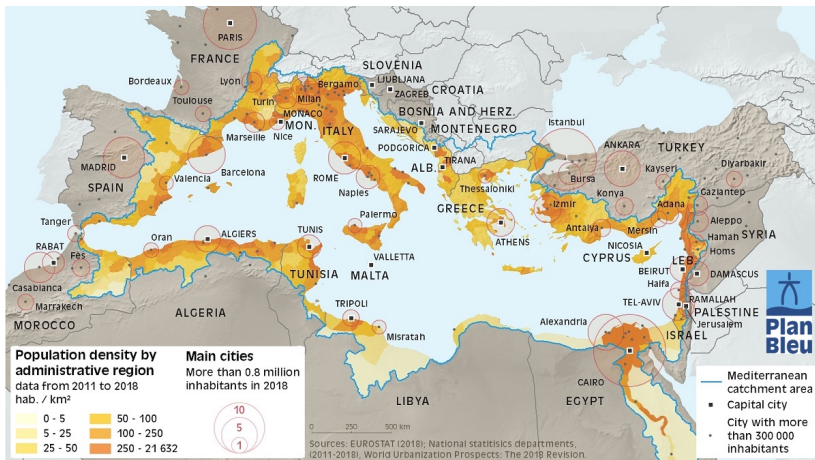
Canal de Provence, département du Vaucluse.

# L'usage de l'eau par une société

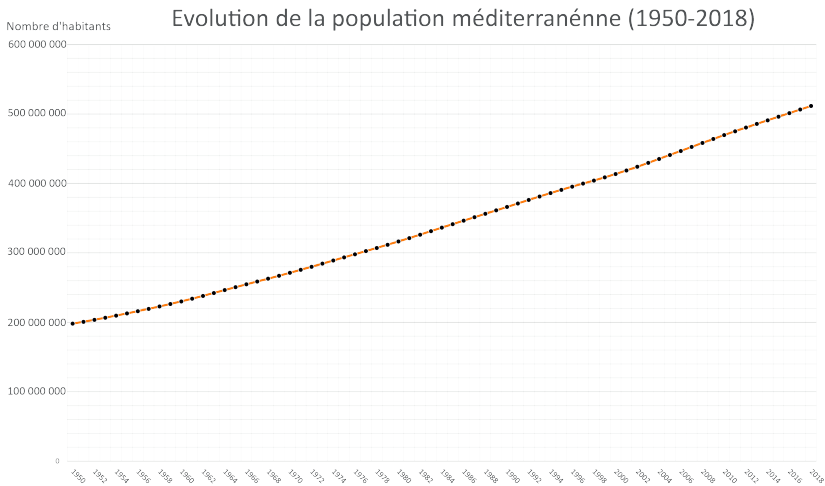


D'après Caliano et al., (2017). Concept du cycle d'usage de l'eau.

# Densité de population actuel (2018) sur les BVM



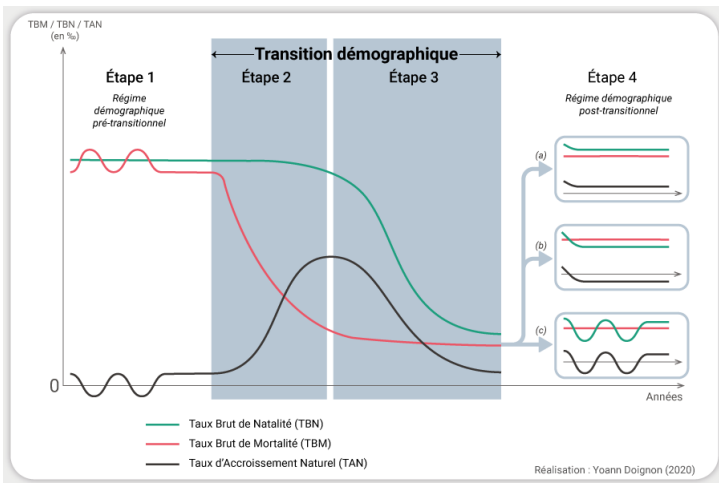
# Évolution de la population méditerranéenne depuis 1950



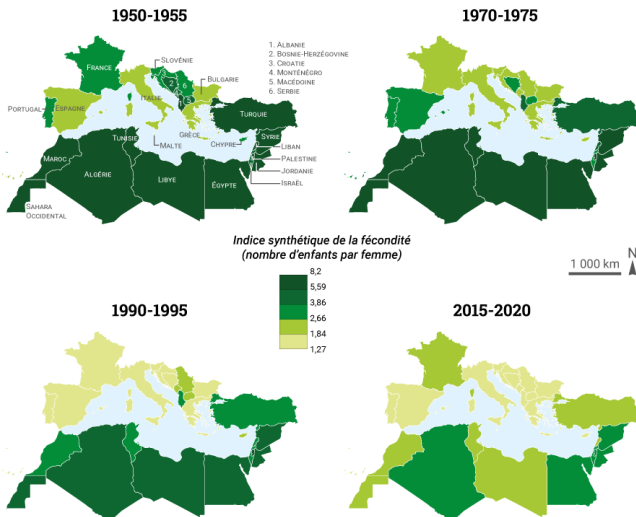
Populations annuelles des pays méditerranéens estimées par les Nations Unies. Algérie, Egypte, Libye, Maroc, Tunisie, Chypre, Israël, Liban, Palestine, Syrie, Turquie, Albanie, Bosnie-Herzégovine, Croatie, Grèce, Italie, Malte, Monténégro, Macédoine du Nord, Serbie, Slovaquie, Espagne, France.



# Transition démographique (1) : modèle descriptif



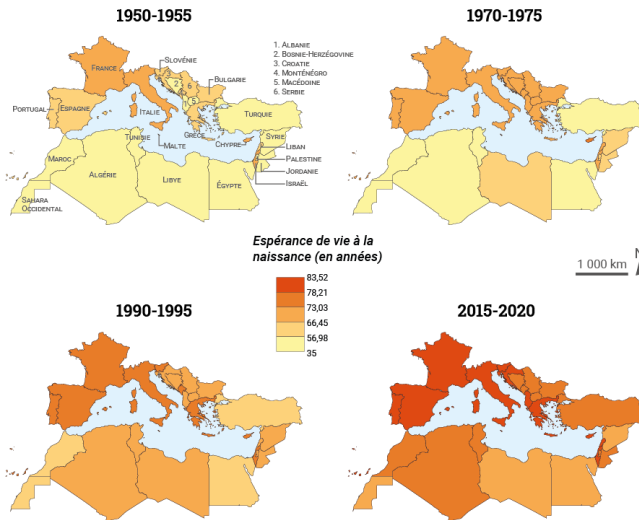
## Transition démographique (3) : dichotomie nord/sud



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

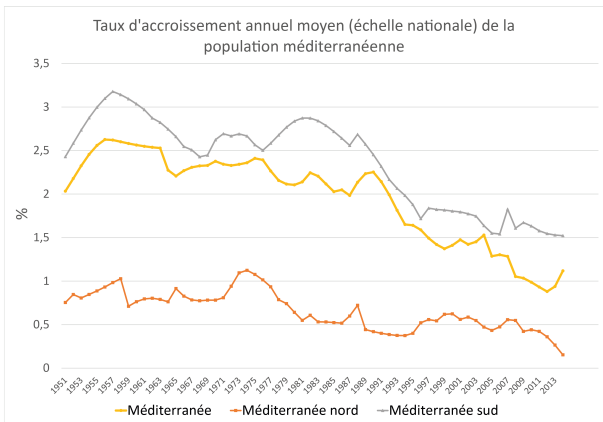
# Des transitions démographiques (4) : variété des trajectoires à l'échelle nationale

## 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



# Croissance de la population méditerranéenne depuis 1950

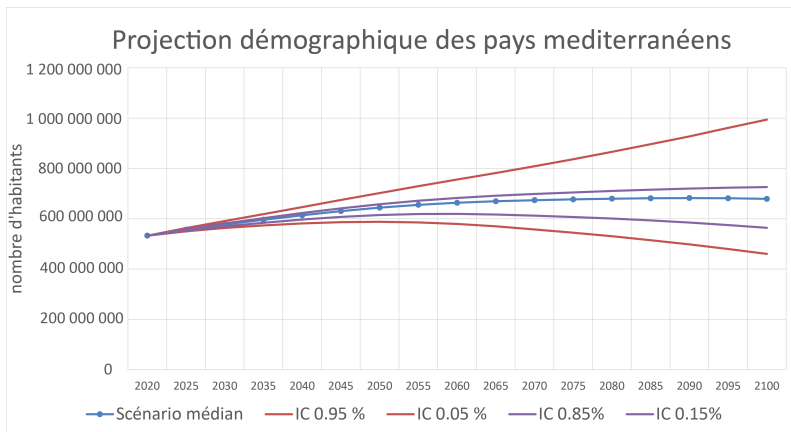


Estimés à partir des données UN pour l'ensemble des pays méditerranéens ayant un suivi depuis 1950.

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

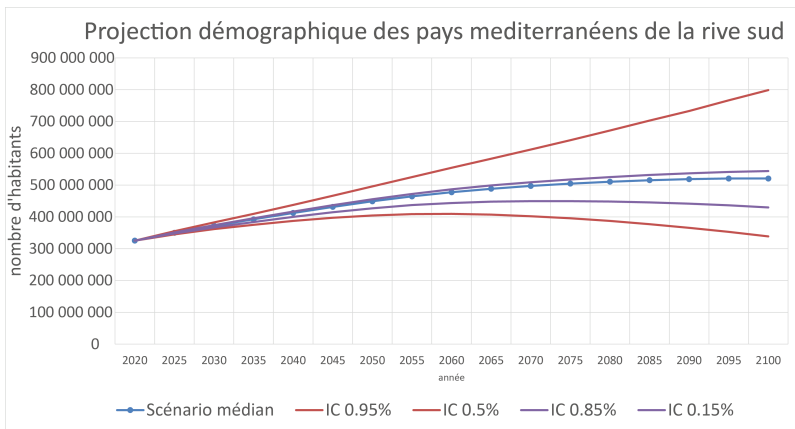
Syrie, Turquie, Albanie, Bosnie-Herzégovie, Croatie, Grèce, Italie, Malte, Montenegro, Macédoine du Nord, Serbie, Slovénie, Espagne, France.)

# Quelles évolutions futures de la population méditerranéenne ?



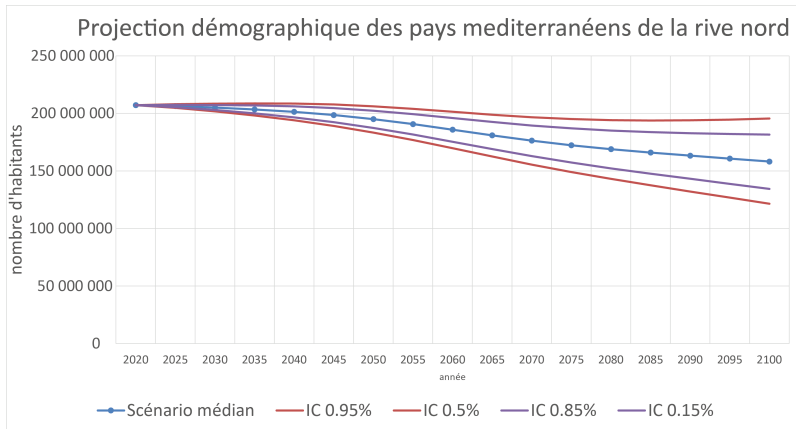
Source WPP 2019 : Algérie, Egypte, Libye, Maroque, Tunisie, Chypre, Israel, Liban, Palestine, Syrie, Turquie, Albanie, Bosnie-Herzégovie, Grèce, Italie, Malte, Monténégro, Macédoine du Nord, Serbie, Espagne, France.

# Quelles évolutions futures de la population méditerranéenne ?



Source WPP 2019 : Algérie, Egypte, Libye, Maroque, Tunisie, Chypre, Israel, Liban, Palestine, Syrie, Turquie, Albanie, Bosnie-Herzégovine, 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, Israël, 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).

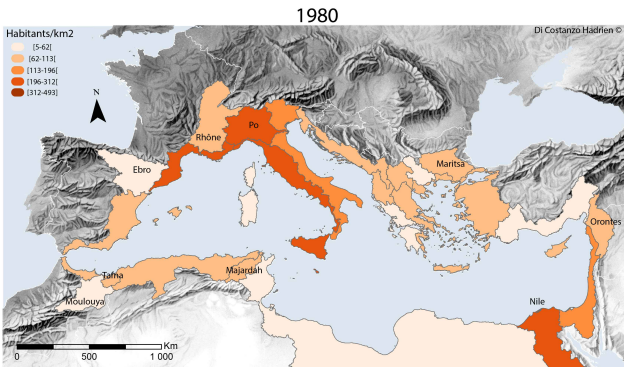
- Méthode d'estimation basée en grande partie sur l'imagerie satellite.
- Mais existe des écarts entre comptes nationaux UN et SEDAC.
- Possibilité de recalibrer cette donnée ? Satisfaisant plus localement ? En tendance (spatiale et temporelle) ?
- Converge tous de même dans le temps vers des tendances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

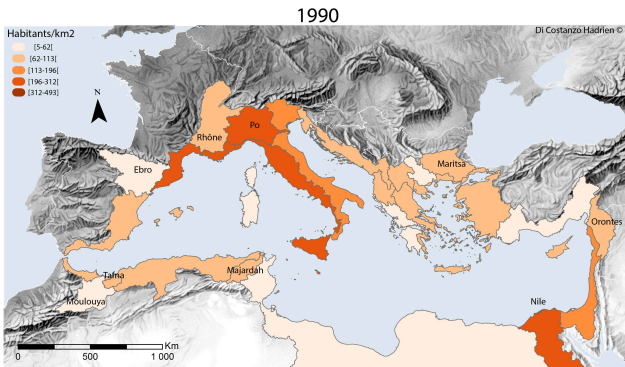
- Méthode d'estimation basée en grande partie sur l'imagerie satellite.
- Mais existe des écarts entre comptes nationaux UN et SEDAC.
- Possibilité de recalibrer cette donnée ? Satisfaisant plus localement ? En tendance (spatiale et temporelle) ?
- Converge tous de même dans le temps vers des tendances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

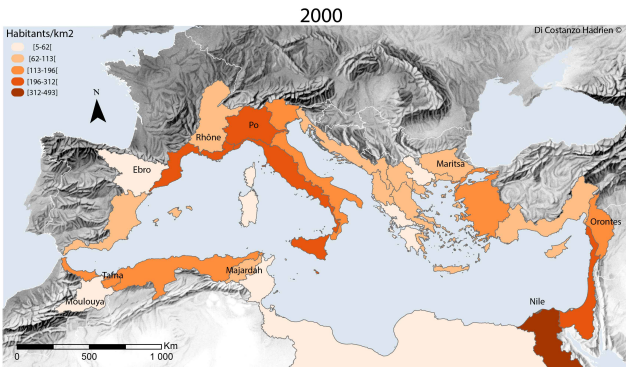
- Méthode d'estimation basée en grande partie sur l'imagerie satellite.
- Mais existe des écarts entre comptes nationaux UN et SEDAC.
- Possibilité de recalibrer cette donnée ? Satisfaisant plus localement ? En tendance (spatiale et temporelle) ?
- Converge tous de même dans le temps vers des tendances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

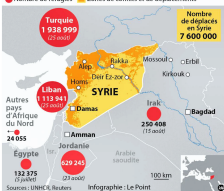


Infographie : Milan Presse, France Télévisions

## Plus de 4 millions de réfugiés syriens

Sur 22 millions d'habitants en Syrie

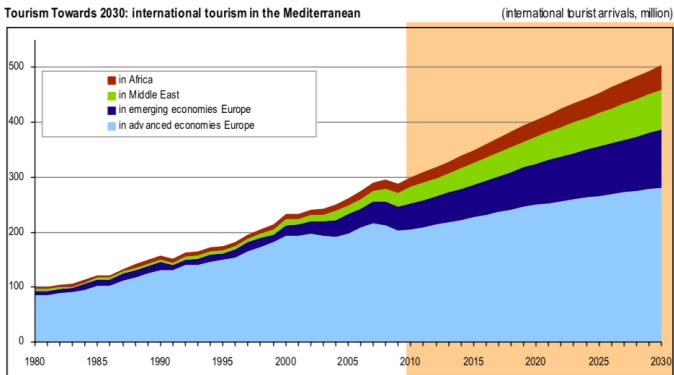
● Nombre de réfugiés    ■ Zones de conflits et de déplacements



# 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 environ 30 % du tourisme mondial ;
- une augmentation + 3,6 %/an entre 1995 et 2014 ;
- 10 millions de touristes supplémentaires attendus d'ici 2030.



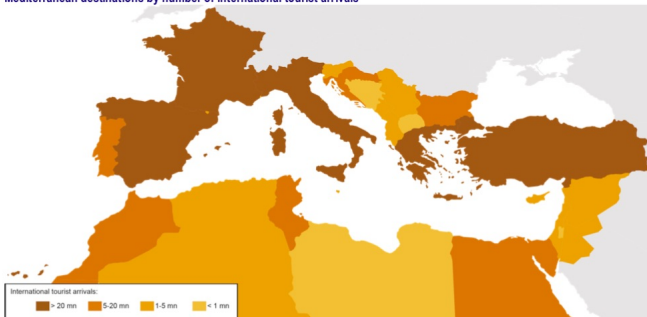
Source: World Tourism Organization (UNWTO) ©

# 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

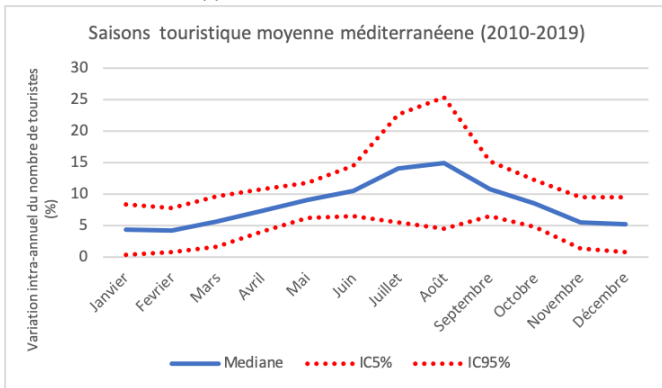


Source: World Tourism Organization (UNWTO) ©

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

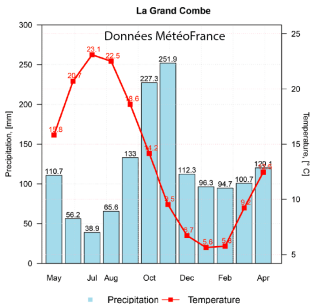
Pour l'année 2015 (source : UNWTO) :

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

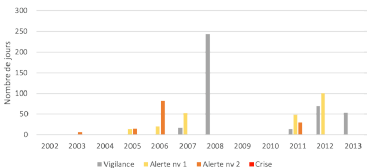




# Le BVM du Gardon

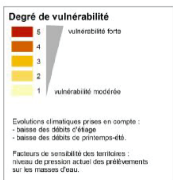


## Arrêtés sécheresse sur le bassin amont des Gardons



## 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)



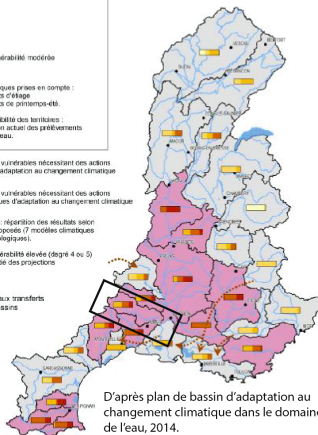
■ bassins vulnérables nécessitant des actions fortes d'adaptation au changement climatique

■ 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



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



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

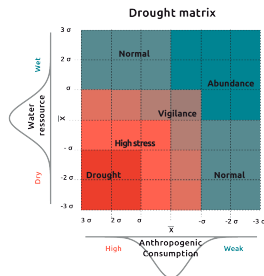
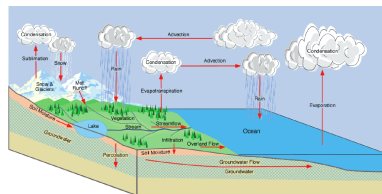
- Mais difficile de déterminer avec précision les différents terme du bilan... De grandes incertitudes sur la qualité des données de prélèvement/consommation et en nombre insuffisant (Martin, Di Costanzo et Canovas, 2021).

# Calculer la tension sur la ressource en eau localement

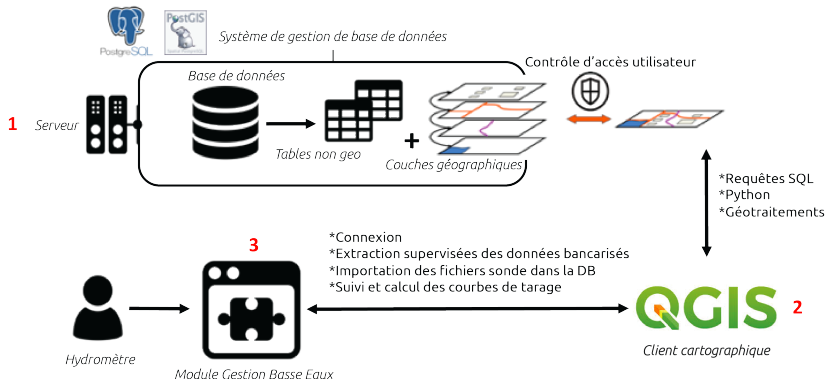
$$\text{Tension} = \frac{\text{Ressource disponible}}{\text{Consommation}}$$

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

- 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 m<sup>2</sup>

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



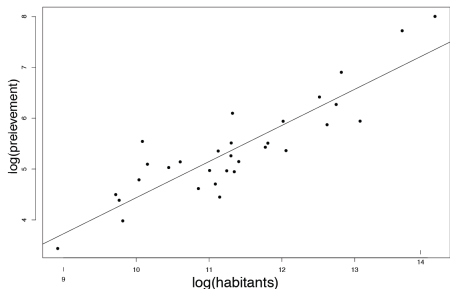
Banque Nationale des Prélèvements d'Eau,  
Recensement de la population INSEE,  
Recensement agricole AGRESTE.

Types de cultures (hec) - 1972/2013,  
Population (habitant) - 1968/2015,  
Prélèvements (>10 000 m<sup>3</sup>/an) - 1997/2019

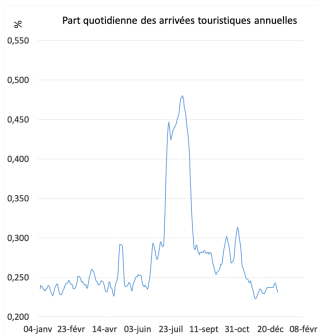
Demande (l/j)  
AEP/Agricole (Allen et al., 1998)  
- 2003/2020  
Prélèvements (l/j) AEP/Agricole -  
2003/2020 (EVP, 2018)

# Estimation du déficit hydrique et de la demande en eau

Prélèvement moyen communal (1993-2018) m<sup>3</sup>/an vs population communale

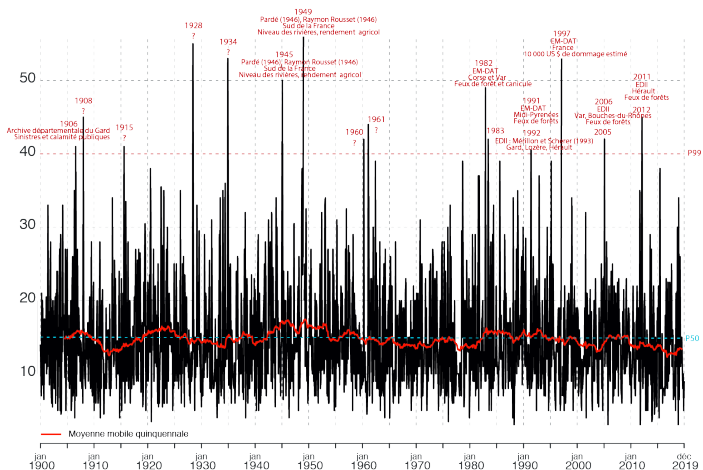


Sources : INSEE et BNPE





# 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 :

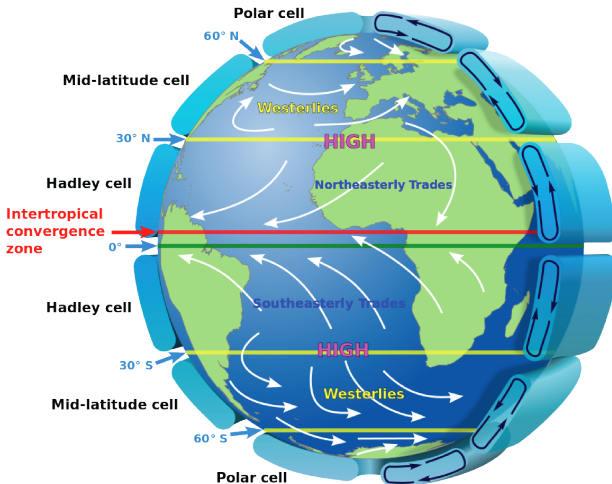
- Une ressource qui a **diminuée** au cours du XX<sup>e</sup> siècle (augmentation de l'**évaporation**)
- Une population estimable (harmonisé entre pays) à l'échelle des BVM méditerranéens possible à partir des données de recensements récents. Pour un suivi plus ancien uniquement les données SEDAC.
- 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 :

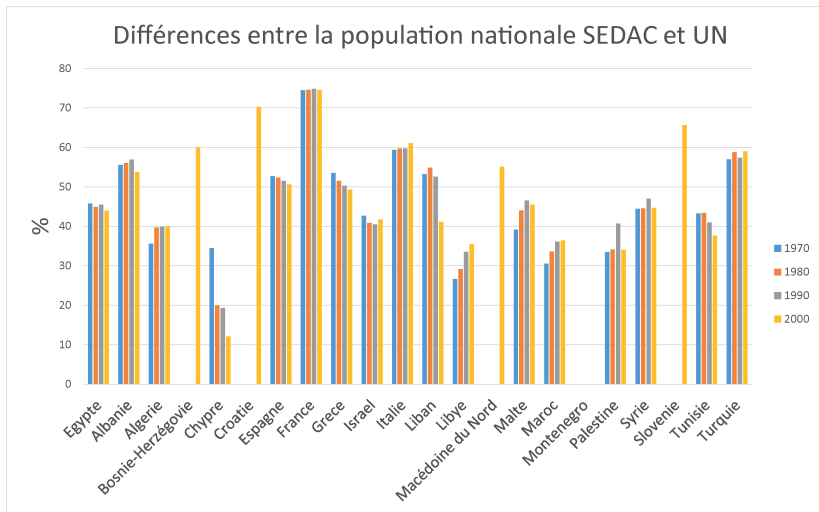
- Une diminution de la ressource qui va probablement être beaucoup plus marqué au cours du XXI<sup>e</sup> siècle (**+2 à +3 °C** et **environ 20%** de diminution des **pluies** sur les principaux BVM).
- Une **croissance** surtout portée par la **rive sud** de la méditerranée qui **pourrait s'infléchir 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



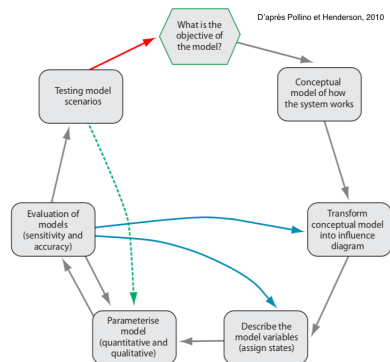
## Annexe 3 : scénarios WPP

<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.

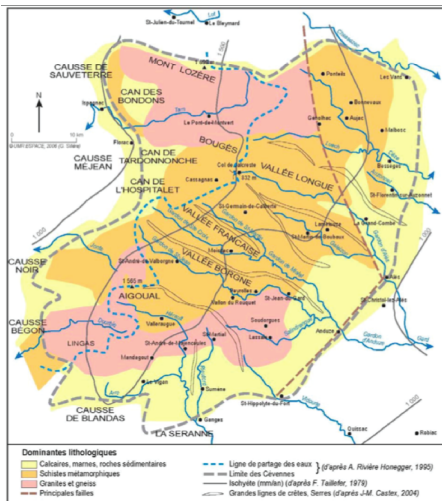
## Annexe 4 : les réseaux bayésiens, une approche probabiliste du calcul de la tension sur la ressource en eau

- 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



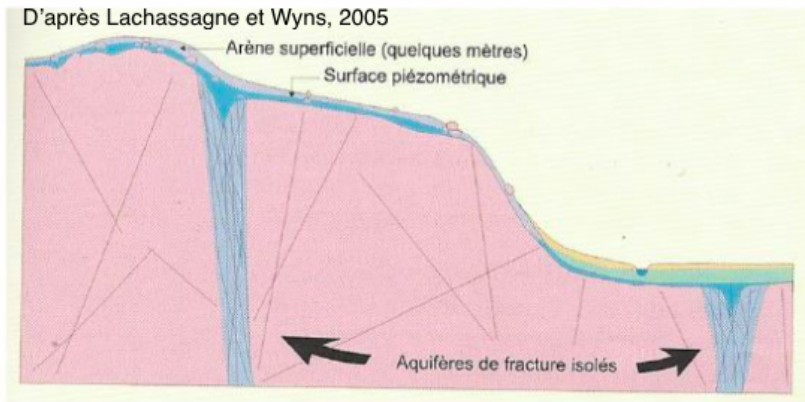


# Annexe 5 : caractéristiques géologiques du BVM des Gardons

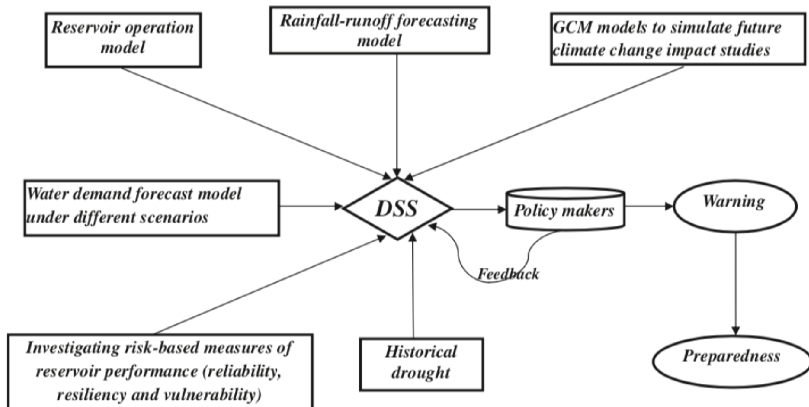


Réalisation G. Sillère

## Annexe 5 : caractéristiques géologiques du BVM des Gardons



## Annexe 6 : caractéristiques géologiques du BVM des Gardons



D'après Mishra et Singh, 2004