



Shared Prosperity Dignified Life



**Improved Groundwater Management in the Arab Region  
through Enhanced Data and Information  
Access and Innovative technologies**



**أثر التغيرات المناخية على المياه الجوفية الساحلية باستخدام نمذجة المحاكاة**

## **Future Climate Change Impact on Coastal Aquifers Using Simulation**

### **Modeling: 2 case studies from Morocco**

**Abdelkader LARABI, Prof., Dr, Eng.**

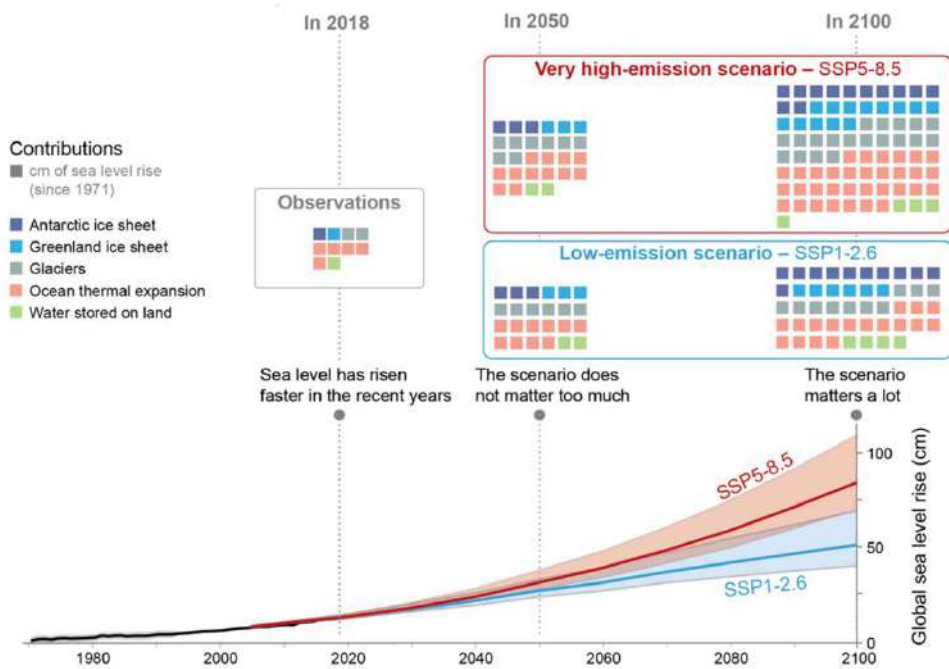
Director of the Regional Water Centre of Maghreb, Mohammed V University in Rabat, Morocco

E-mail: [larabi@emi.ac.ma](mailto:larabi@emi.ac.ma)

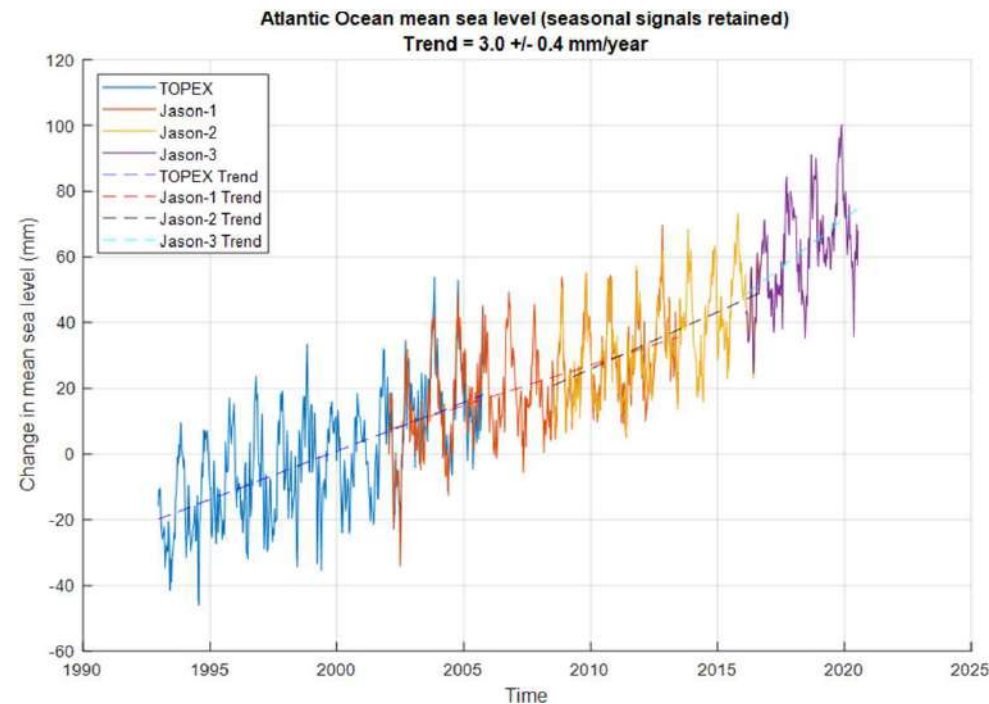
**Session V : Assessment of Climate Change Impacts on Groundwater Resources**

**CWW, Cairo, 30 - 31 October 2023**

# MSL Changes



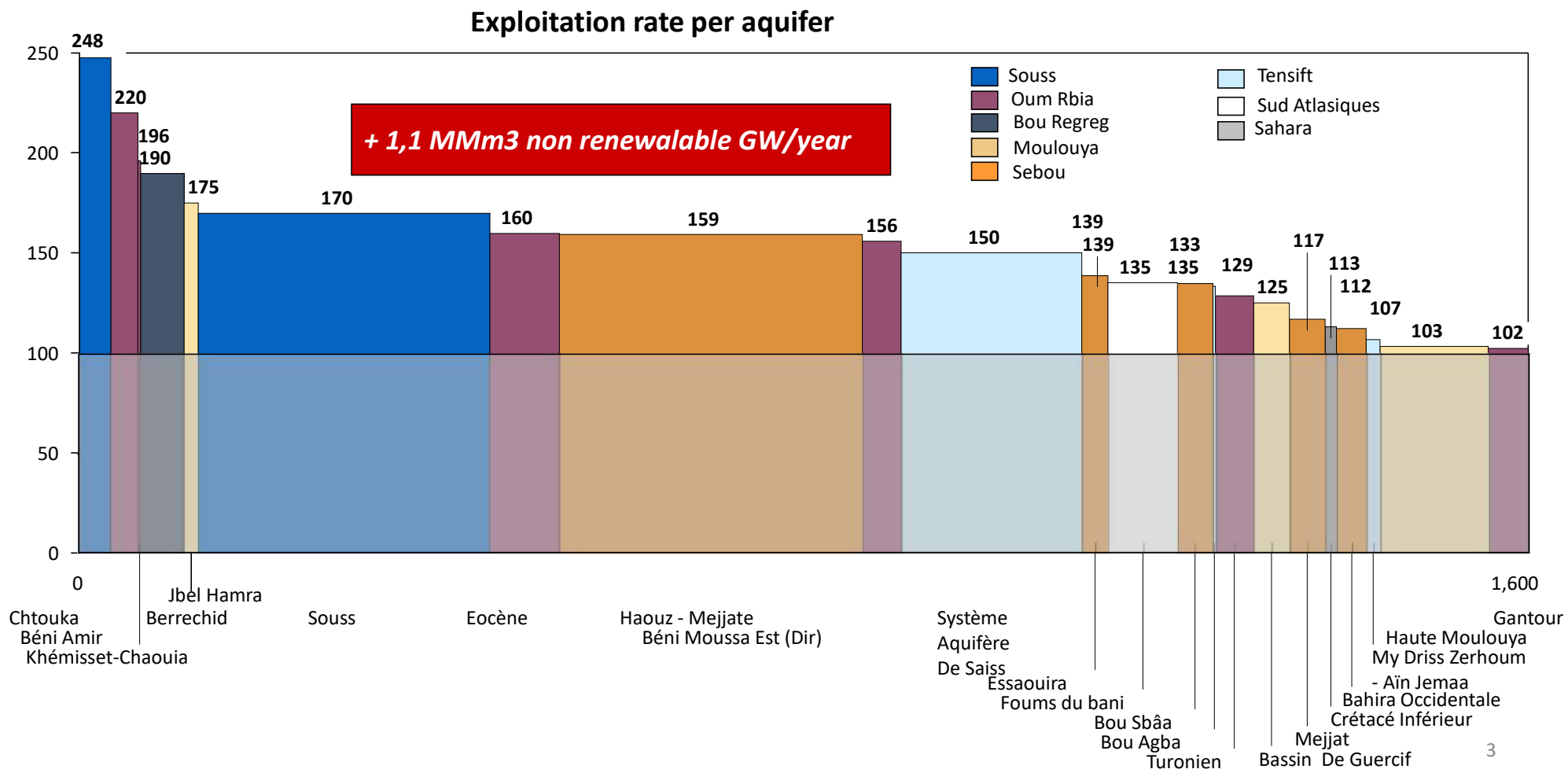
The rise in sea level is inevitable. But its short-term development depends little on our current emissions. However, by 2100, these emissions can change their magnitude considerably. In the longer term (3 centuries), a scenario of 4 ° C in 2100 can lead to an increase of several meters (6<sup>th</sup> IPCC Report, 2021).



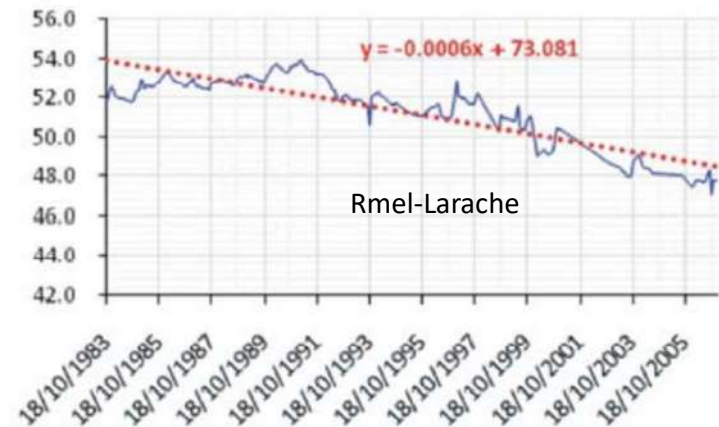
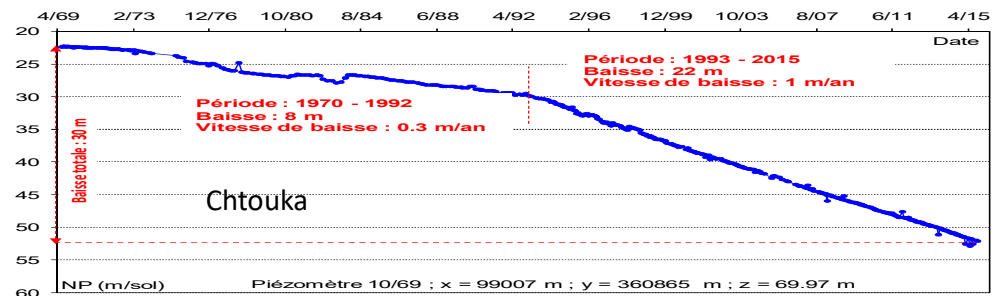
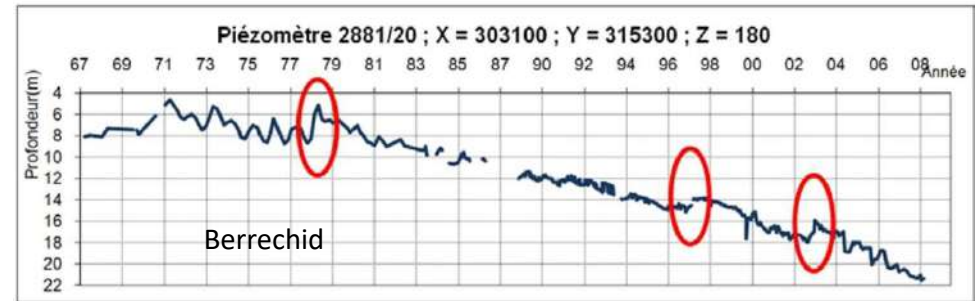
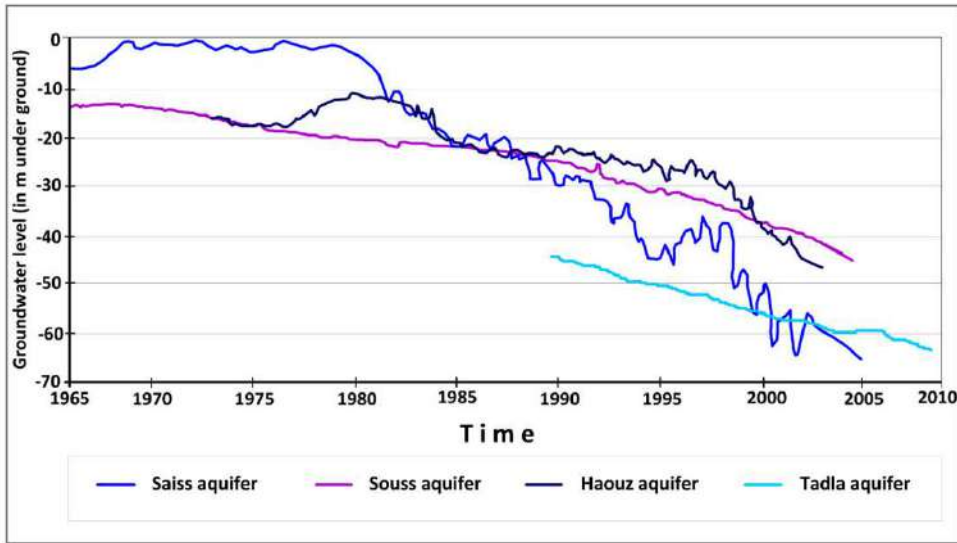
Atlantic mean sea level from TOPEX, Jason-1, Jason-2, and Jason-3 (NOAA data) for the Rmel Aquifer in Morocco.

(Larabi et al., 2021)

# Overexploitation of Groundwater in Morocco (due to demand & CC)

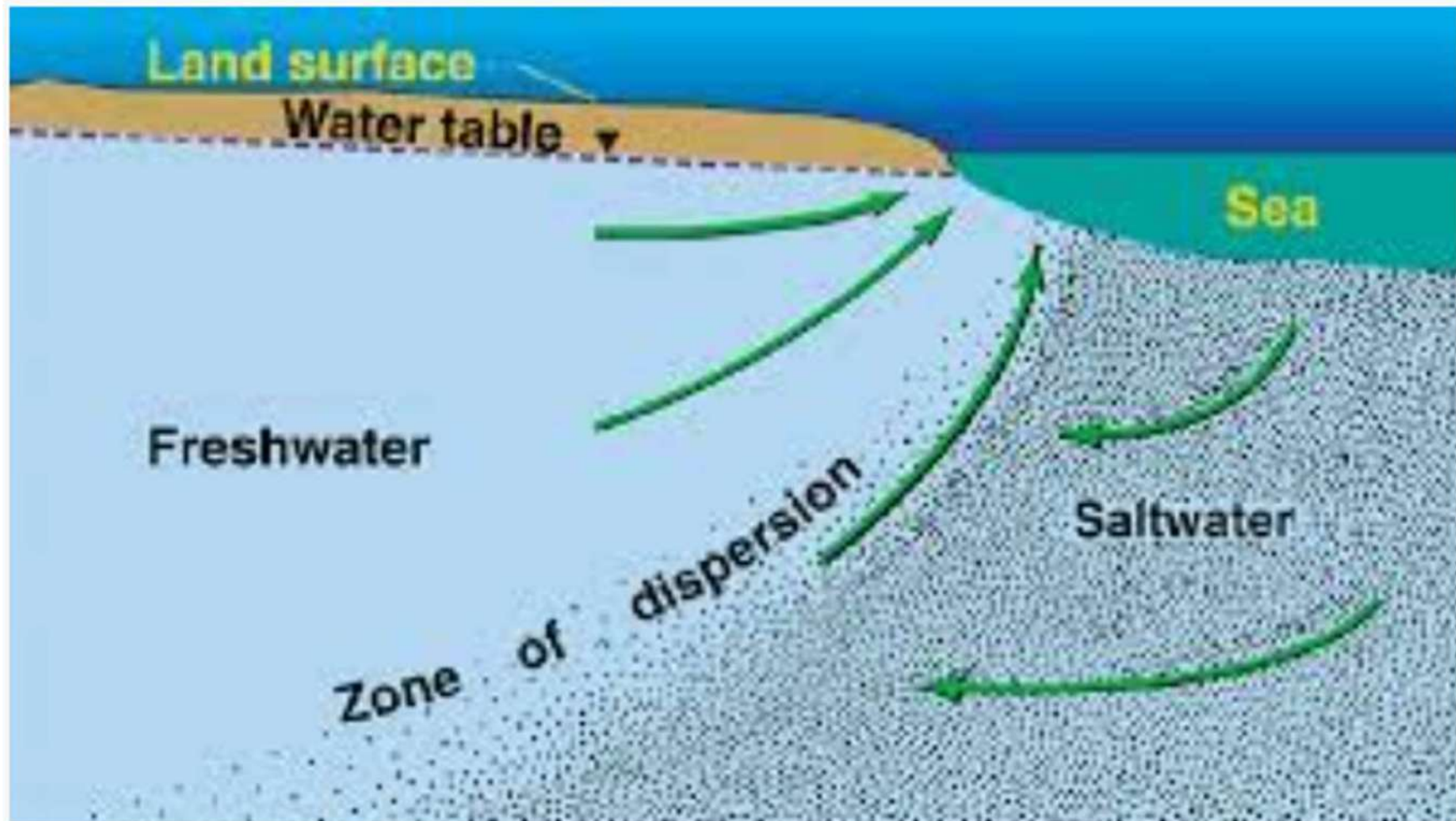


# Impacts on Piezometric Levels/drawdowns

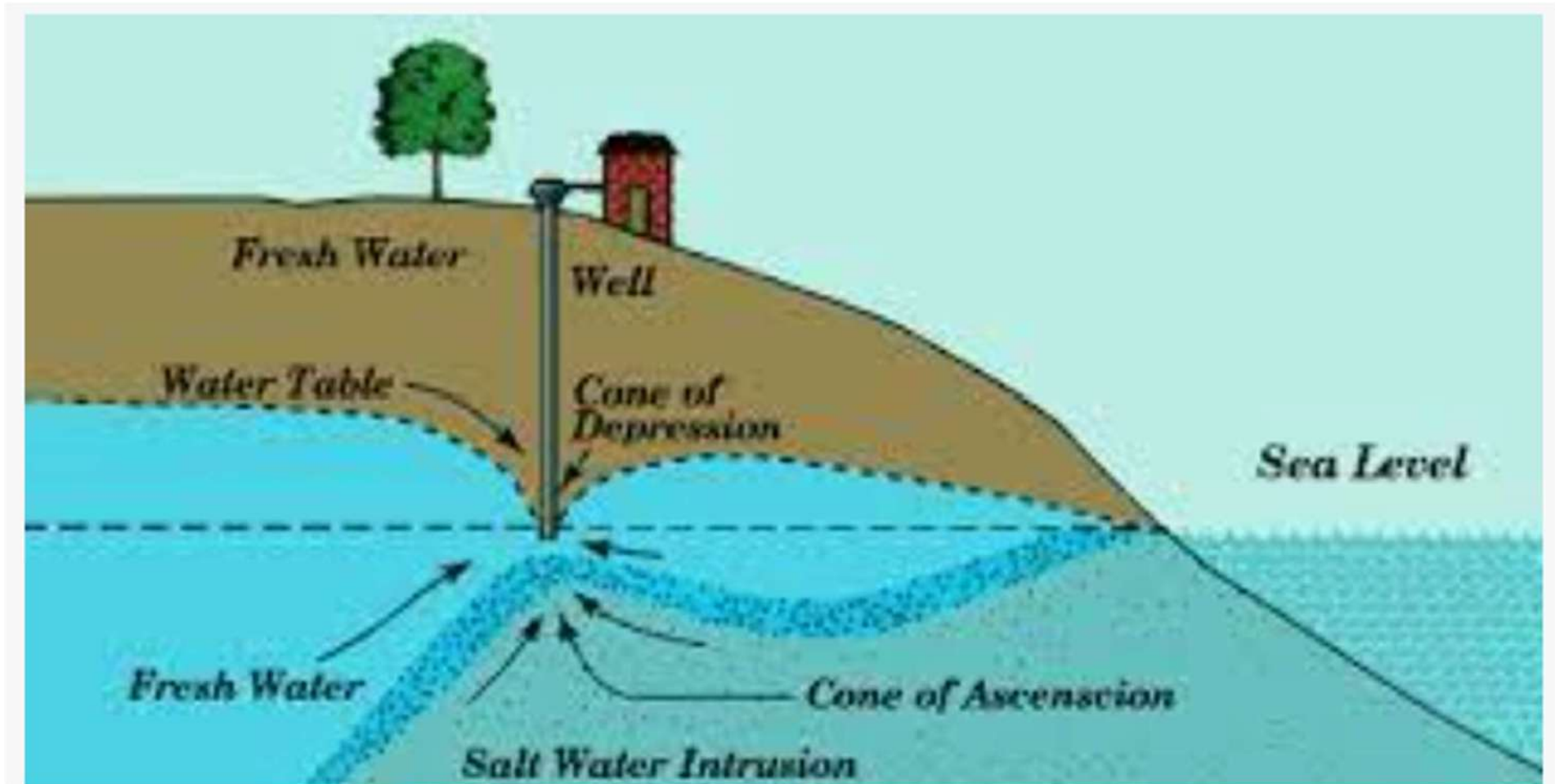


- Observation wells in continuous decline/aquifer depletion

## Saltwater Intrusion Occurrence



## Saltwater Intrusion Upconing



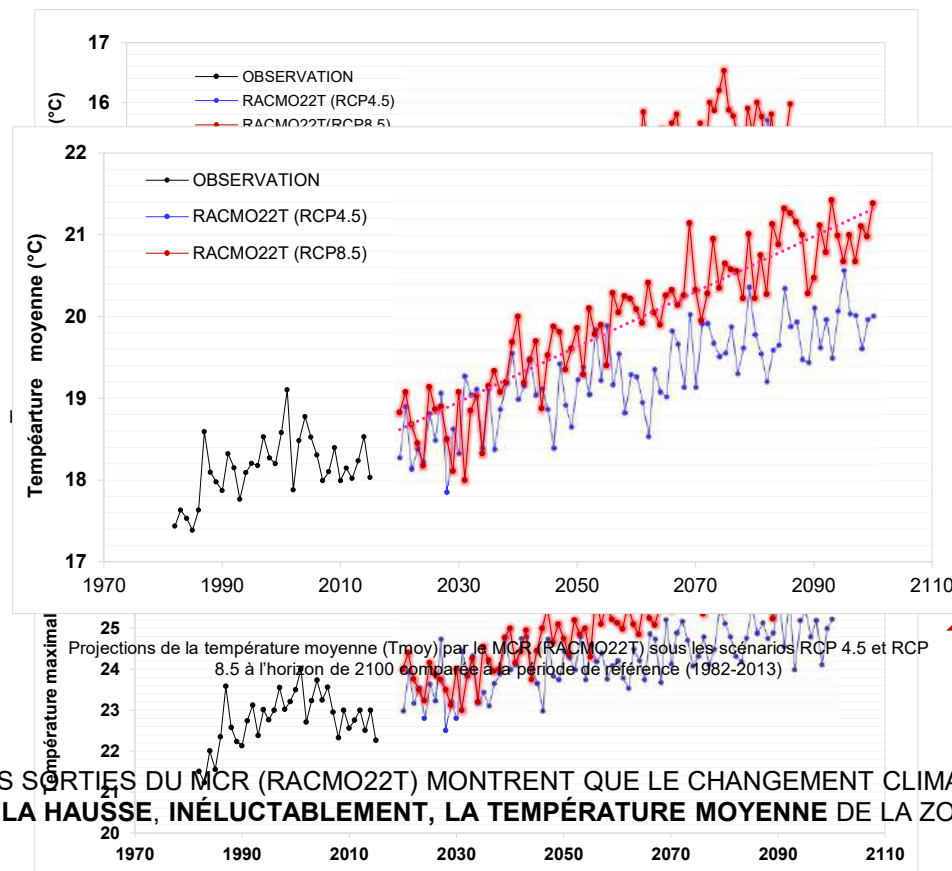
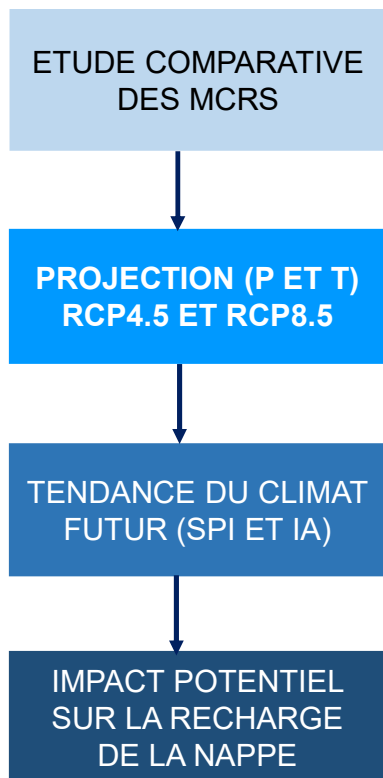
## Location of the Study area



SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA PLAINE DE GHIS NEKKOR

# PROJECTIONS CLIMATIQUES DE LA ZONE D'ETUDE DE LAPLAINE DE RHIS-NEKKOR

## PROJECTIONS DES TEMPERATURES



↑ +0,5 °C RCP4.5 (2021-2050)

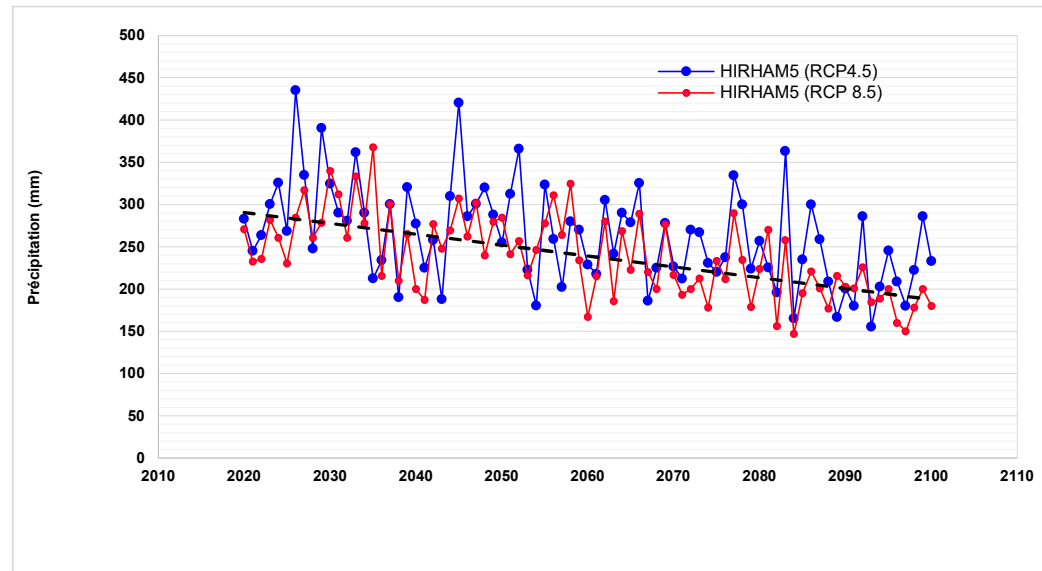
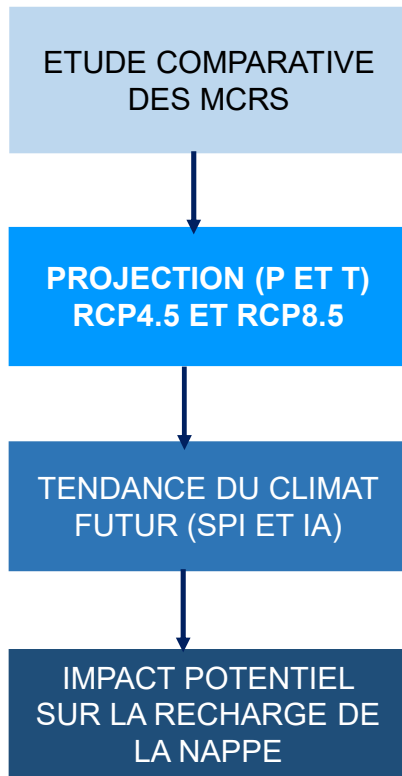
↑ +1,4 °C RCP8.5 (2021-2050)

Projections de la température maximale (Tmax) par le MCR (RACMO22T) sous les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 à l'horizon de 2100 comparée à la période de référence (1982-2013)



# - PROJECTIONS CLIMATIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

## PROJECTIONS DES PRECIPITATIONS



PROJECTIONS DES PRÉCIPITATIONS PAR LE MCR (HIRHAM5) SOUS LES DEUX SCÉNARIOS RCP 4.5 ET RCP 8.5 À L'HORIZON DE 2100

**-18 %**  
2021-2050 [RCP4.5]

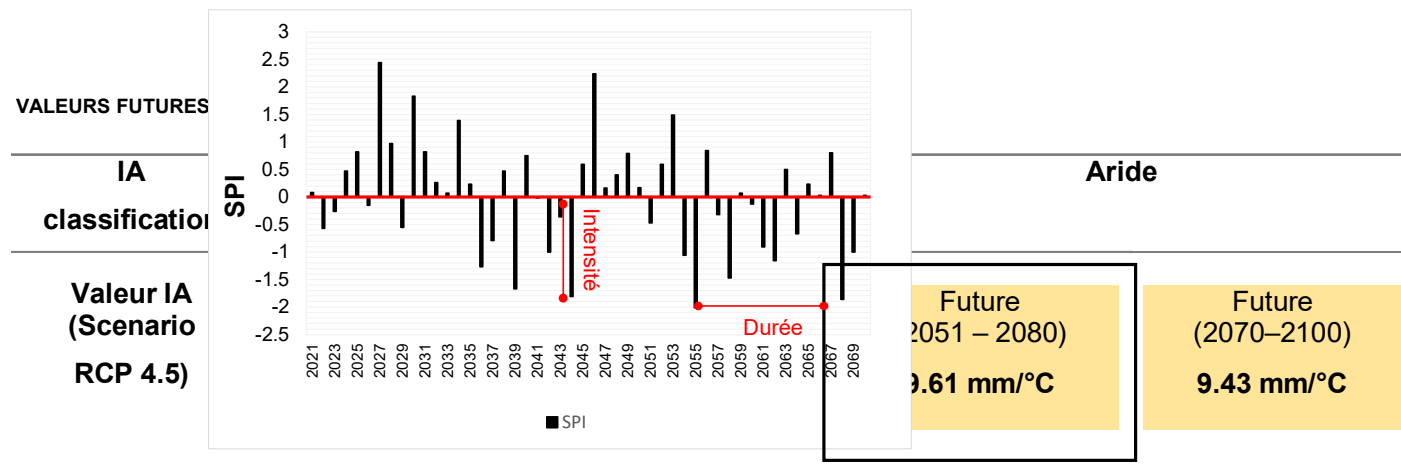
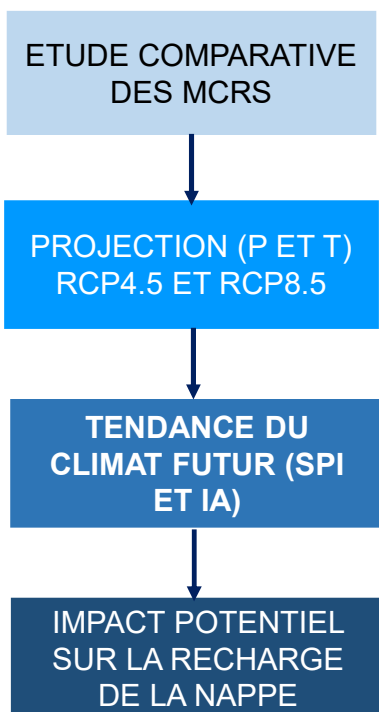


**-30 %**  
2050-2080 [RCP4.5]



# - PROJECTIONS CLIMATIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

## SPI ET IA FUTUR



EVOLUTION FUTURE DU SPI POUR UN LAPSE DE TEMPS DE 12 MOIS CALCULÉ À PARTIR DES PROJECTIONS DE PRÉCIPITATION ISSUES DU MCR HIRHAM5 SOUS LE SCÉNARIO RCP4.5 POUR LA PÉRIODE FUTURE (2021-2070)

- Indice d'aridité [10 - 20]
- Indice d'aridité [5-10]



## APPARITION DU CLIMAT ARIDE

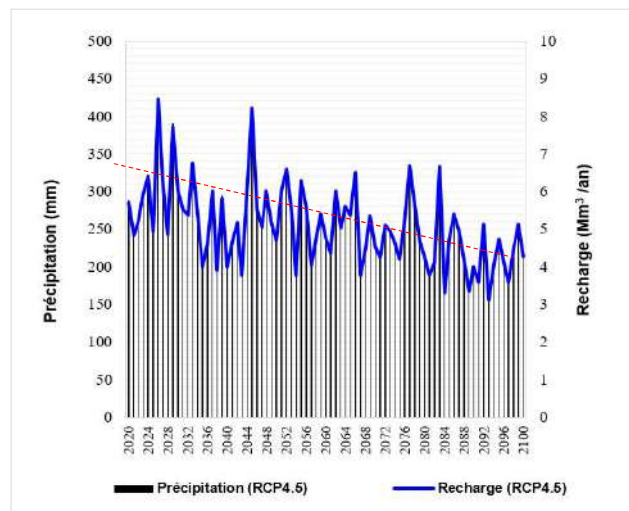
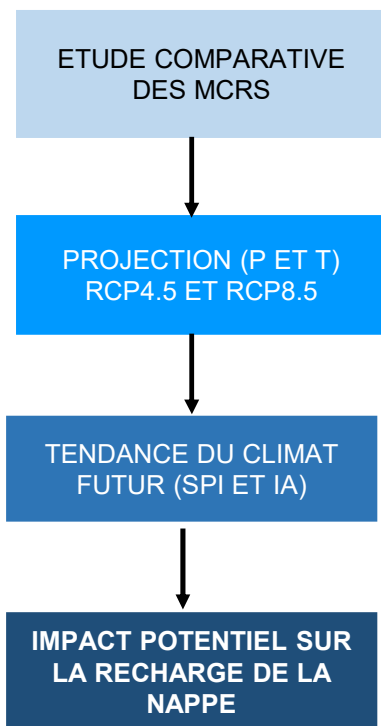
ÉPIISODES DE SÉCHERESSE AVEC UNE INTENSITÉ MODÉRÉE À FORTÉ [1 < SPI < 2]

L'INTENSITÉ ET LA DURÉE DES SÉCHERESSES AUGMENTERAIENT POUR LES PÉRIODES [2035-2045] ET [2054-2070]

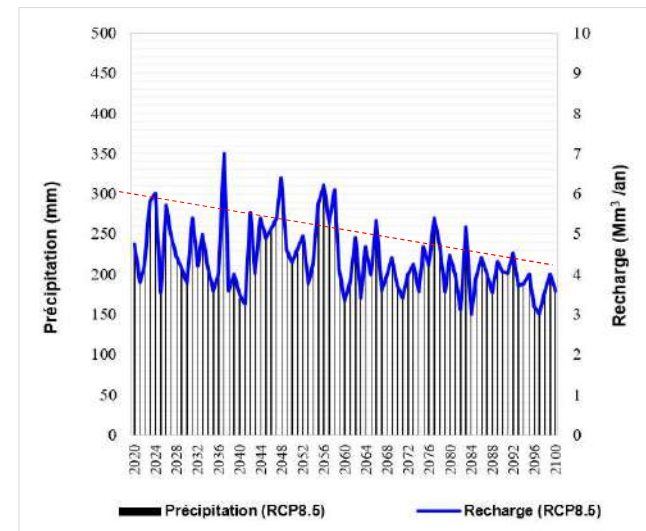
FRÉQUENCE DES SÉCHERESSE FORTE SERAIENT DE PLUS EN PLUS ÉLEVÉE, ELLE AUGMENTERAIT DE **12% POUR** (2020-2070) PAR RAPPORT À LA PÉRIODE (1964-2013)

# - PROJECTIONS CLIMATIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

## IMPACT SUR LA RECHARGE FUTURE (2020-2100)



EVOLUTION FUTURE DE LA RECHARGE DE LA NAPPE PAR PRÉCIPITATION SOUS LE SCÉNARIO RCP 4.5 POUR LA PÉRIODE (2020-2100).



EVOLUTION FUTURE DE LA RECHARGE DE LA NAPPE PAR PRÉCIPITATION SOUS LE SCÉNARIO RCP 8.5 POUR LA PÉRIODE (2020-2100).

ANNEE	SCENARIO RCP4.5	SCENARIO RCP8.5
2021-2050	-14%	-22%
2051-2080	-25%	-30%
2071-2100	-30%	-38%

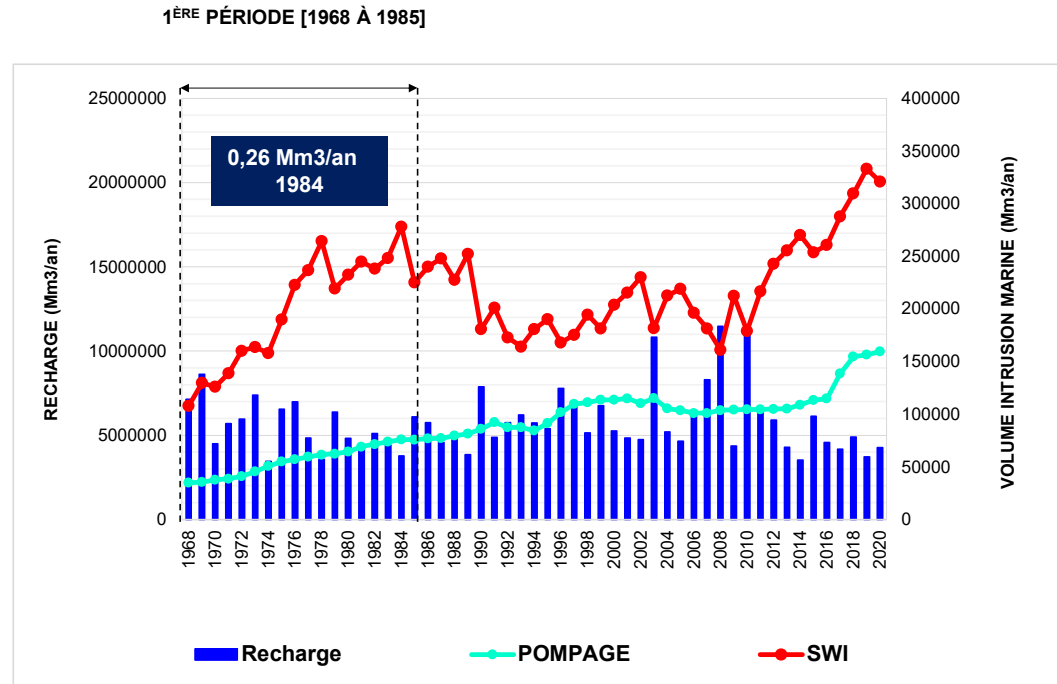
# . MODELISATION DE LA NAPPE EN RT AVEC INTRUSION MARINE

## 4. EVOLUTION DES VOLUMES DE L'IM EN FONCTION DE LA RECHARGE ET DES POMPAGES

NETTE HAUSSE DES VOLUMES POMPÉES [ 4Mm3/an]

TENDANCE GLOBALEMENT BAISSIÈRE DE LA RECHARGE [CARACTÈRE DÉFICITAIRE]

FORTE CROISSANCE DE L'INTRUSION MARINE



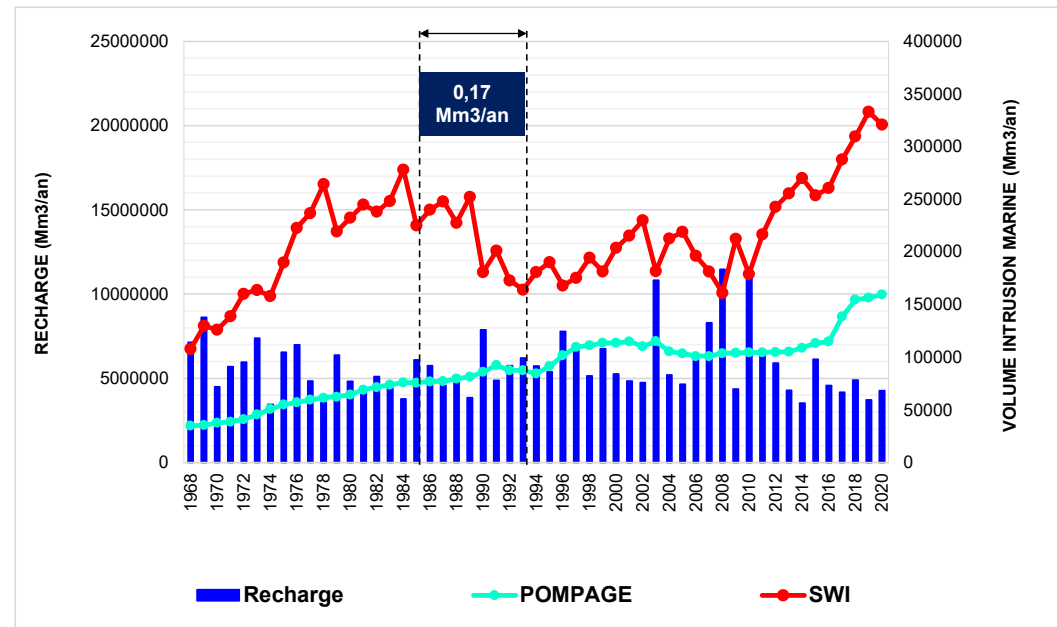
EVOLUTION DES VOLUMES DE L'IMEN FONCTION DE LA RECHARGE ET DES POMPAGES

# . MODELISATION EN RT AVEC IM

## 4. EVOLUTION DES VOLUMES DE L'IM EN FONCTION DE LA RECHARGE ET DES POMPAGES

2<sup>ÈME</sup> PÉRIODE

[1985 À 1993]



RECU DE 45% DE L'INTRUSION MARINE

TRES FAIBLE AUGMENTATION DES VOLUMES  
POMPÉES [7%]

RECHARGE RELATIVEMENT STABLE (OSCILLANT  
EN MOYENNE GÉNÉRAL AUX ALENTOURS DE  
5Mm3/AN)

EVOLUTION DES VOLUMES DE L'IMEN FONCTION DE LA RECHARGE ET DES POMPAGES

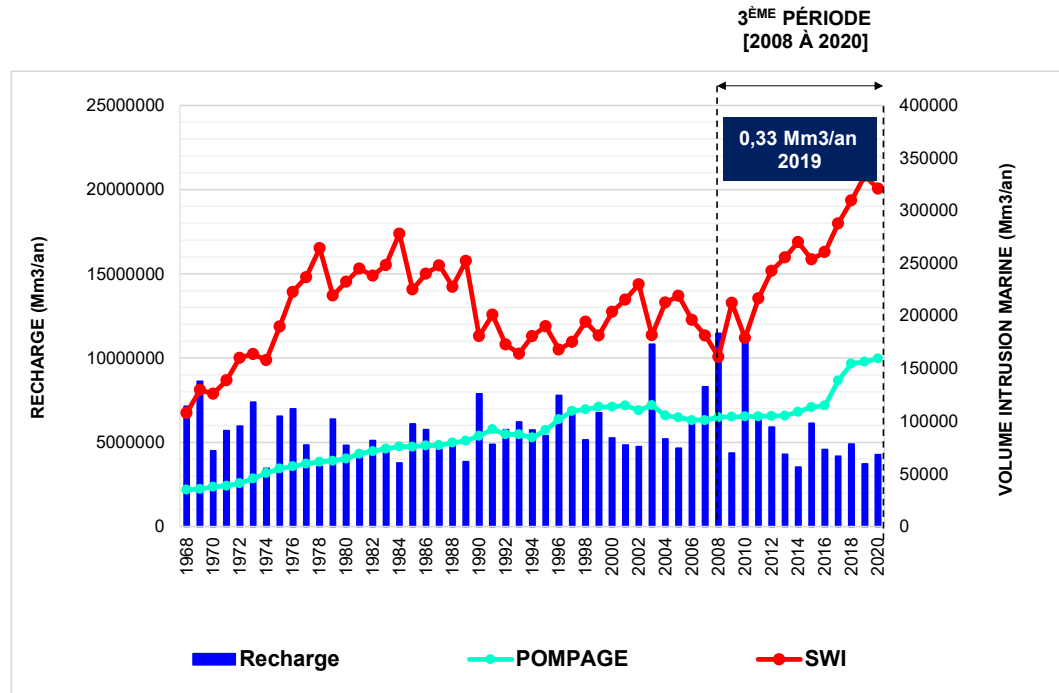
## . MODELISATION EN RT AVEC IM

### 4. EVOLUTION DES VOLUMES DE L'IM EN FONCTION DE LA RECHARGE ET DES POMPAGES

UNE TRÈS FORTE BAISSÉ DE LA RECHARGE AVOISINANT 60%, NOTAMMENT SUR LES 7 DERNIÈRES ANNÉES OÙ LA RECHARGE A DESCENDU EN DESSOUS DU SEUIL (5Mm3/an).

UNE FORTE HAUSSE DU POMPAGE DE L'ORDRE DE 50%.

CETTE CONFIGURATION A LOGIQUEMENT ENTRAINÉ UNE TRÈS FORTE HAUSSE DE L'INTRUSION



EVOLUTION DES VOLUMES DE L'IMEN FONCTION DE LA RECHARGE ET DES POMPAGES

# . MODELISATION EN RT AVEC IM

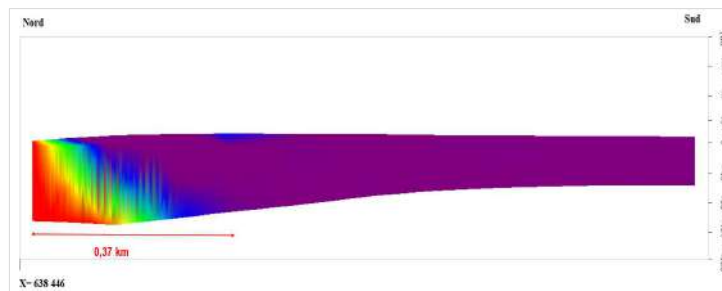
1967

## 5. EXTENSION DE L'IM DANS LA PARTIE N-O

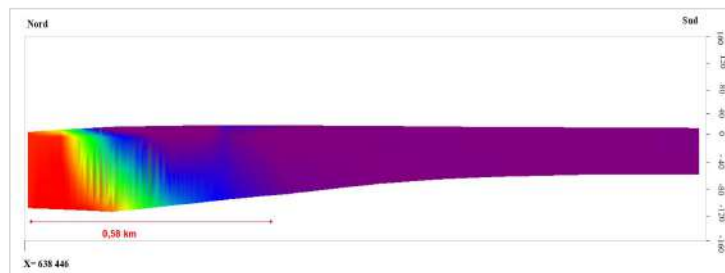
A-  
1967



B-  
1984



C-  
2020



L'INTERFACE DE L'INTRUSION  
MARINE GARDE NETTEMENT  
UNE TENDANCE À LA HAUSSE

SALINITÉ ET EXTENSION DE L'ÉTENDUE DE L'INTRUSION MARINE AU NIVEAU DE LA SECTION TRANSVERSALE AA' - A.1967- B. 1985- C.2020



## . MODELISATION EN RT AVEC IM

### 5. EXTENSION DE L'IM DANS LA PARTIE N-O

SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DES VOLUMES D'INTRUSION MARINE, EXTENSION ET SALINITE A DIFFERENTE PERIODE

ANNÉE	VOLUME IM ENTRANT DS LA NAPPE (MM3/AN)	EXTENSION DU FRONT D'IM (KM)	SALINITÉ (mg/L) N-O (1684/5)
1967	0,11	0,2	215
1984	0,2	0,27	847
2020	0,32	0,58	11400

**DISTANCE** DU PREMIER CAPTAGE DE LONEP LE PLUS PROCHE DU FRONT DE L'IM : **1,2KM**

**SIMULER L'INTRUSION MARINE FUTURE** SOUS DIFFÉRENTS SCÉNARIOS POUR ETUDIER L'ÉVOLUTION DE L'EXTENSION CONTAMINÉE PAR LES EAUX DE MER AINSI QUE SA DISTANCE PROXIMITÉ PAR RAPPORT AUX FORAGES DU CHAMPS CAPTANT



# . SIMULATION PREVISIONNELLE DE LA PIEZOMETRIE ET L'IM

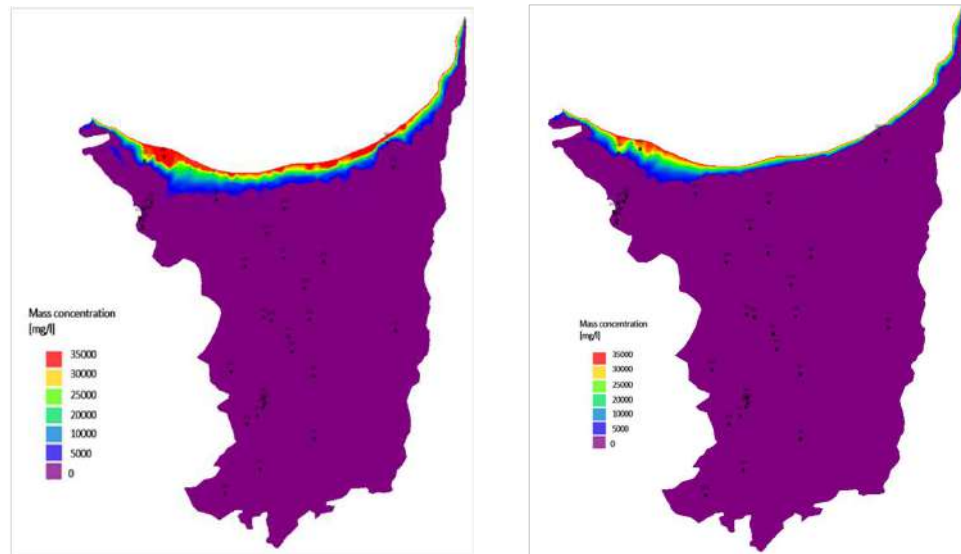
## 2. SIMULATION DE LA PIEZOMETRIE ET L'IM FUTURE AVEC ELEVATION DU NMM

- RESULTAT SCÉNARIO 3: POMPAGES EXCESSIFS + RECHARGE [RCP4.5] + ELEVATION DU NMM [RCP4.5]

ELEVATION  
NMM/RCP4.5: [+0,18m] +  
POMPAGE EXCESSIF



IMPACT SEVERE SUR LA NAPPE  
SURTOU DANS LA PARTIE N-O



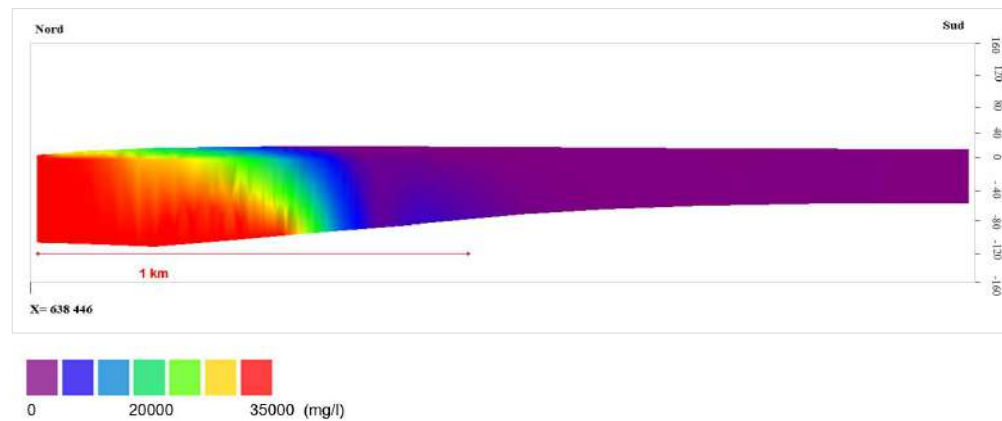
CARTE DE LA RÉPARTITION SPATIALE DE LA SALINITÉ SIMULÉE POUR 2040 SOUS LE SCÉNARIO 3 AU NIVEAU DE LA 2<sup>ÈME</sup> ET LA 3<sup>ÈME</sup> COUCHE  
[SCÉNARIO 3: POMPAGES EXCESSIFS + RECHARGE [RCP4.5] + ELEVATION DU NMM [RCP4.5]]

# . SIMULATION PREVISIONNELLE DE LA PIEZOMETRIE ET L'IM

## 2. SIMULATION DE LA PIEZOMETRIE ET L'IM FUTURE AVEC ELEVATION DU NMM

- RESULTAT SCÉNARIO 3: POMPAGES EXCESSIFS + RECHARGE [RCP4.5] + ELEVATION DU NMM [RCP4.5]

**ELEVATION NMM/RCP4.5:  
[+0,18m]+POMPAGE  
EXCESSIF**



SALINITÉ ET EXTENSION DE L'ÉTENDUE DE L'INTRUSION MARINE AU NIVEAU DE LA SECTION TRANSVERSALE AA' À POUR LE SCÉNARIO 3 À L'HORIZON 2040 ( MONTÉE DE LA MER +0,18M PRÉVUE POUR LE SCÉNARIO RCP4.5)  
SCÉNARIO 3: POMPAGES EXCESSIFS + RECHARGE [RCP4.5] + ELEVATION DU NMM [RCP4.5]

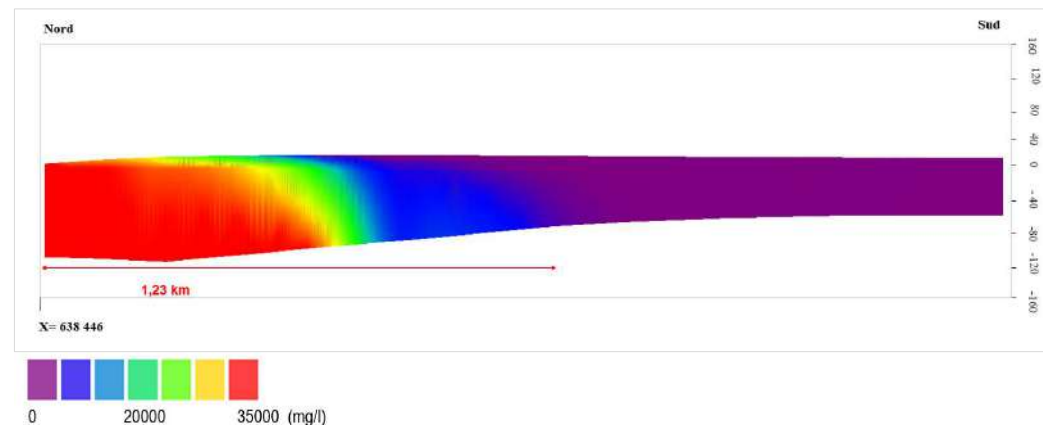
ANNÉE 2040	Volumes d'IM (Mm <sup>3</sup> /an)	Extension du front d'IM (COUPE AA') (Km)	Salinité (mg/L)	
			N-O (1684/5)	N-E (566/5)
SCENARIO 3 [RCP4.5]	1,2	1	32000	4600

# . SIMULATION PREVISIONNELLE DE LA PIEZOMETRIE ET L'IM

## 2. SIMULATION DE LA PIEZOMETRIE ET L'IM FUTURE AVEC ELEVATION DU NMM

- RESULTAT SCÉNARIO 4: POMPAGES EXCESSIFS + RECHARGE [RCP8.5] + ELEVATION DU NMM [RCP8.5]

ELEVATION NMM/RCP8.5:  
[+0,22m]+POMPAGE  
EXCESSIF



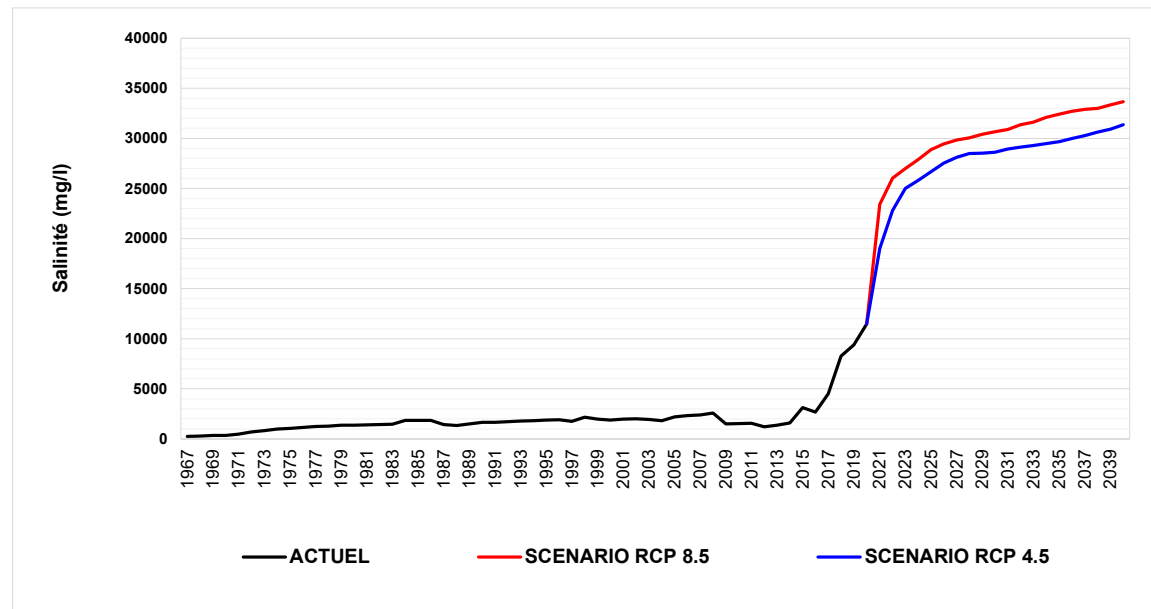
SALINITÉ ET EXTENSION DE L'ÉTENDUE DE L'INTRUSION MARINE AU NIVEAU DE LA SECTION TRANSVERSALE AA' À POUR LE SCÉNARIO 4  
SCÉNARIO 4: POMPAGES EXCESSIFS + RECHARGE [RCP8.5] + ELEVATION DU NMM [RCP8.5]

ANNÉE 2040	Volumes d'IM (Mm <sup>3</sup> /an)	Extension du front d'IM (COUPE AA') (Km)	Salinité (mg/L)	
			N-O (1684/5)	N-E (566/5)
SCENARIO 3 [RCP4.5]	1,2	1	32000	4600
SCENARIO 4 [RCP8.5]	1,78	1,23	33000	4970

# . SIMULATION PREVISIONNELLE DE LA PIEZOMETRIE ET L'IM

## 2. SIMULATION DE LA PIEZOMETRIE ET L'IM FUTURE AVEC ELEVATION DU NMM

- EVOLUTION DE LA SALINITÉ : SCENARIOS 3 ET 4



EVOLUTION FUTURE DE LA SALINITÉ DANS LA TROISIÈME COUCHE DU MODÈLE AU NIVEAU DU POINT 1684/5 SOUS LES 2 SCÉNARIOS ÉTUDIÉS [3 ET 4]

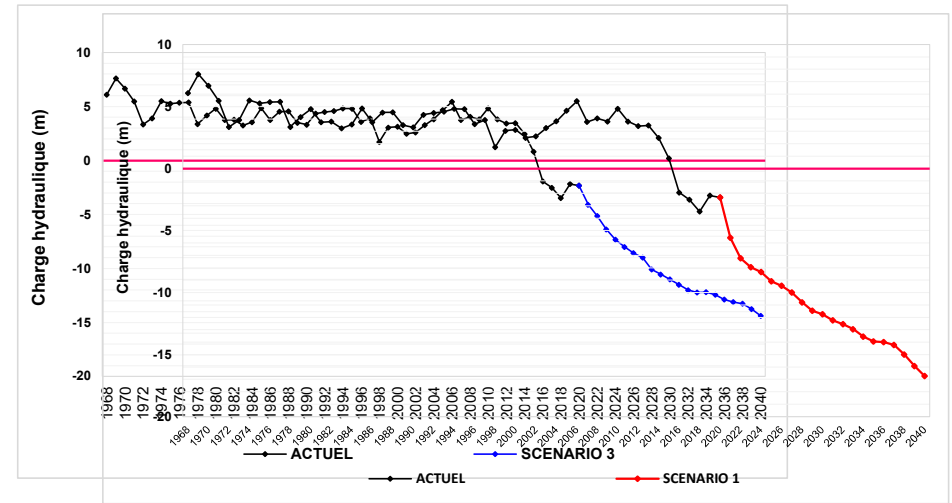
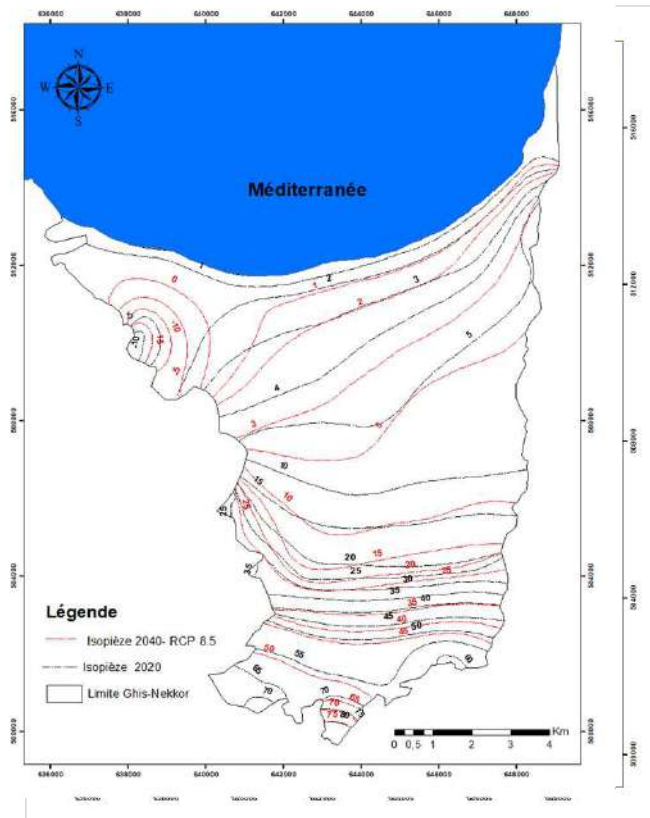
**SCÉNARIO 3: POMPAGES EXCESSIFS + RECHARGE [RCP4.5] + ELEVATION DU NMM [RCP4.5]**

**[SCÉNARIO 4: POMPAGES EXCESSIFS + RECHARGE [RCP8.5] + ELEVATION DU NMM [RCP8.5]**

# . SIMULATION PREVISIONNELLE DE LA PIEZOMETRIE ET L'IM

## 2. SIMULATION DE LA PIEZOMETRIE ET L'IM FUTURE AVEC ELEVATION DU NMM

RESULTATS SCENARIO 3: POMPAGES EXCESSIFS + RECHARGE [RCP4.5] + ELEVATION DU NMM [RCP4.5]



EVOLUTION FUTURE DE LA PIEZOMETRIE AU NIVEAU DU POINT 385/5 DU CHAMP CAPTANT  
SCENARIO 3: POMPAGES EXCESSIFS + RECHARGE [RCP4.5] + ELEVATION DU NMM [RCP4.5]

CARTE COURTES PIEZOMETRIQUES POUR L'ANNÉE 2020 ET L'ANNÉE 2040  
SCENARIO 3: POMPAGES EXCESSIFS + RECHARGE [RCP4.5] + ELEVATION DU NMM [RCP4.5]

## . SIMULATION PREVISIONNELLE DE LA PIEZOMETRIE ET L'IM

SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DES PROJECTIONS DE LA SALINITÉ ET L'EXTENSION DU FRONT D'INTRUSION MARINE SOUS LES DEUX SCÉNARIOS DU GIEC RCP4.5 ET RCP8.5

SCENARIO	VOLUME IM (MM3/AN)	EXTENSION DU FRONT D'IM (KM)	SALINITÉ (mg/L) N-O (1684/5)	DISTANCE DU FORAGE DE LONEP LE PLUS PROCHE % AU BISEAU SALEE (KM)
1	0,34	0,64	22700	1,23
2	0,81	0,81	27000	1
3	1,2	1	32080	0,81
4	1,78	1,23	33578	0,5



**CES VALEURS ACCUSENT FORTEMENT LA QUALITÉ DES EAUX DE LA NAPPE DE GHIS-NEKKOR**

SCENARIO 1: POMPAGE CONSTANT + RECHARGE [RCP4.5]

SCENARIO 2: POMPAGE EN AUGMENTATION + RECHARGE [RCP4.5]

SCENARIO 3: POMPAGES EXCESSIFS + RECHARGE [RCP4.5] + ELEVATION DU NMM [RCP4.5]

SCENARIO 4: POMPAGES EXCESSIFS + RECHARGE [RCP8.5] + ELEVATION DU NMM [RCP8.5]

## . SIMULATION PREVISIONNELLE DE LA PIEZOMETRIE ET L'IM

### 3. EVOLUTION DES BILANS HYDRIQUES

TERMES DU BIALN	1967	2021	2035 [RCP4.5]	2038 [RCP8.5]
STOCKAGE	0	0,5	2,01	3,52
APPORTS LATÉRAUX	6,92	4,97	3,45	2,5
<b>INTRUSION MARINE</b>	<b>0,11</b>	<b>0,34</b>	<b>1,2</b>	<b>1,78</b>
RETOURS IRRIGATION	1,24	0,66	0,66	0,66
RECHARGE PAR PRÉCIPITATION	8,23	5,6	3,86	3,25
APPORTS DES SOUS ÉCOULEMENTS	4,5	5,85	4,45	3,73
<b>TOTAL</b>	<b>20,97</b>	<b>17,92</b>	<b>15,63</b>	<b>15,45</b>
DESTOCKAGE	0	0,03	0	0,02
POMPAGE	2,23	9,8	13,91	14,65
SVM	14,3	3,77	0,43	0,12
EVAPO	4,33	3,95	1,2	0,6
<b>TOTAL</b>	<b>20,86</b>	<b>18,02</b>	<b>15,54</b>	<b>15,39</b>

LES ENTRÉES DE LA NAPPE ONT CHUTÉ DE 48% SUR UNE DURÉE DE 53 ANS (1967-2021) SUR LA

**UN CAS EXTRÊME DES POMPAGES ET DE L'ÉLÉVATION DU NMM COMBINÉ AU CARACTÈRE ARIDE QUE CONNAITRAIT LA NAPPE À L'HORIZON DE 2080 (IA=9,61mm/°C) OCCASIONNERA INÉVITABLEMENT DES EFFETS ENCORE PLUS NÉFASTES.**



**Thank you for your attention**