



L'apport des géographes climatologues aux modélisations du changement climatique aux échelles régionales et locales

Downscaling statistiques des températures et des précipitations 2021-2050 et 2071-2100 des modèles ARPEGE-Climat et ALADIN-Climat pour les scénarios A1B, A2 et B1 en France et dans les Alpes-Maritimes et ses applications : climat méditerranéen, confort thermique et enneigement

Nicolas Martin

La climatologie en géographie (Pagney, 2012 dans EchoGéo)

- ❑ La géographie se situe à l'interface environnement – société, certaines disciplines étant plutôt considérées comme « humaines » tandis que d'autres sont dites « physiques ».
- ❑ La climatologie en géographie a eu pour objet la classification des climats du globe à ses débuts (1ère moitié du XXème siècle) : climatologie analytique s'appuyant des mesures terrain.
 - ✓ Emmanuel De Martonne : Traité de géographie physique (dernière édition 1940)
 - ✓ Georges Viers : Elements de Climatologie
 - ✓ W. Köppen et H. Gaussen classent les climats à partir d'indices (botaniques notamment)
- ❑ Dès 1950 les géographes climatologues s'orientent aussi vers la climatologie dynamique (P. Pédelaborde, P. Pagney) fondée sur l'analyse des cartes météorologiques. De la simple description des climats, cette climatologie passe à l'explication des phénomènes.
- ❑ A partir des années 1970 : les physiciens de l'atmosphère s'emparent des questions climatiques (intérêt pour la modélisation du réchauffement climatique) au détriment des géographes qui sont marginalisés en dépit d'une structuration importantes via la Commission Française de Climatologie du Comité National Français de Géographie et l'Association Internationale de Climatologie (courant 1980).
- ❑ Démarches opposées : les physiciens s'appuient sur les théories (modélisation mathématique), les géographie climatologues partent de l'observation (modélisation empirique)
- ❑ Echelles spatiales : globale pour les physiciens, régionale et locale pour les géographes

Méthode : comment modéliser de l'information ?

□ Démarche déductive/déterministe :

- ✓ Le phénomène étudié est appréhendé dans sa globalité : on parle de système
- ✓ Des équations mathématiques décrivent le fonctionnement de chaque composante du système

✓ Cette démarche permet de fixer les limites physiques du phénomène

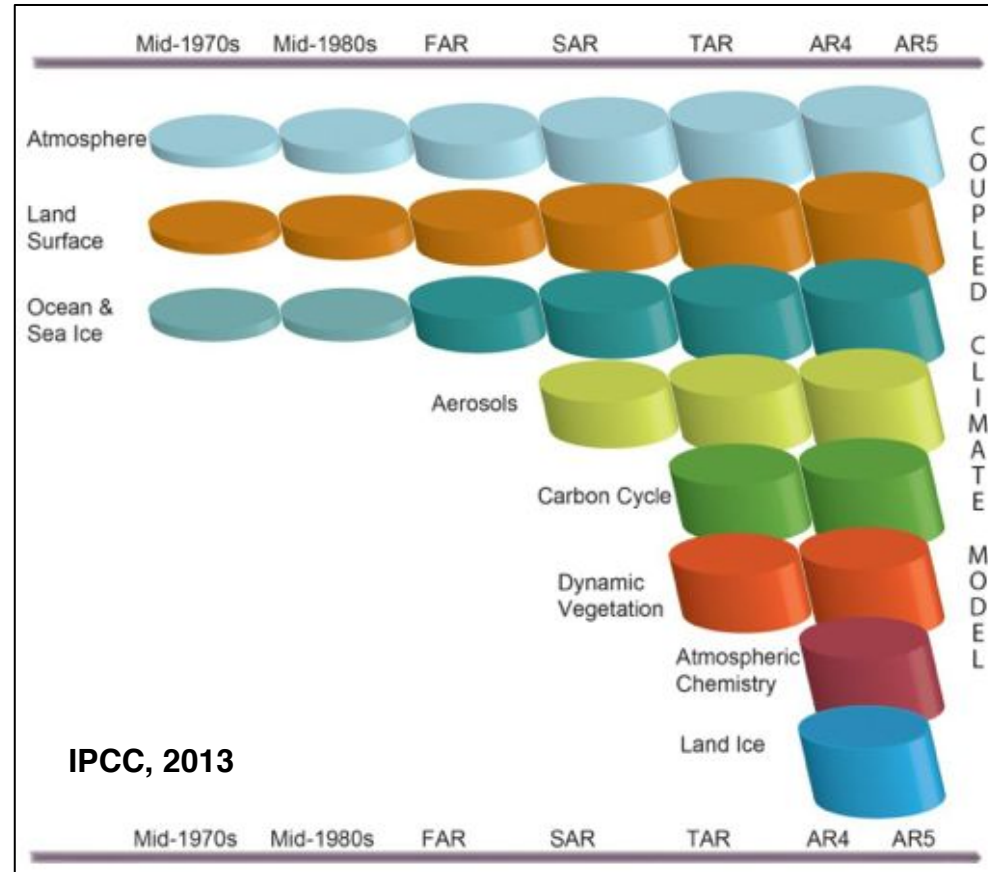
✓ Nécessite de nombreuses données et une grande puissance de calcul

✓ Plusieurs types de modèles climatiques :

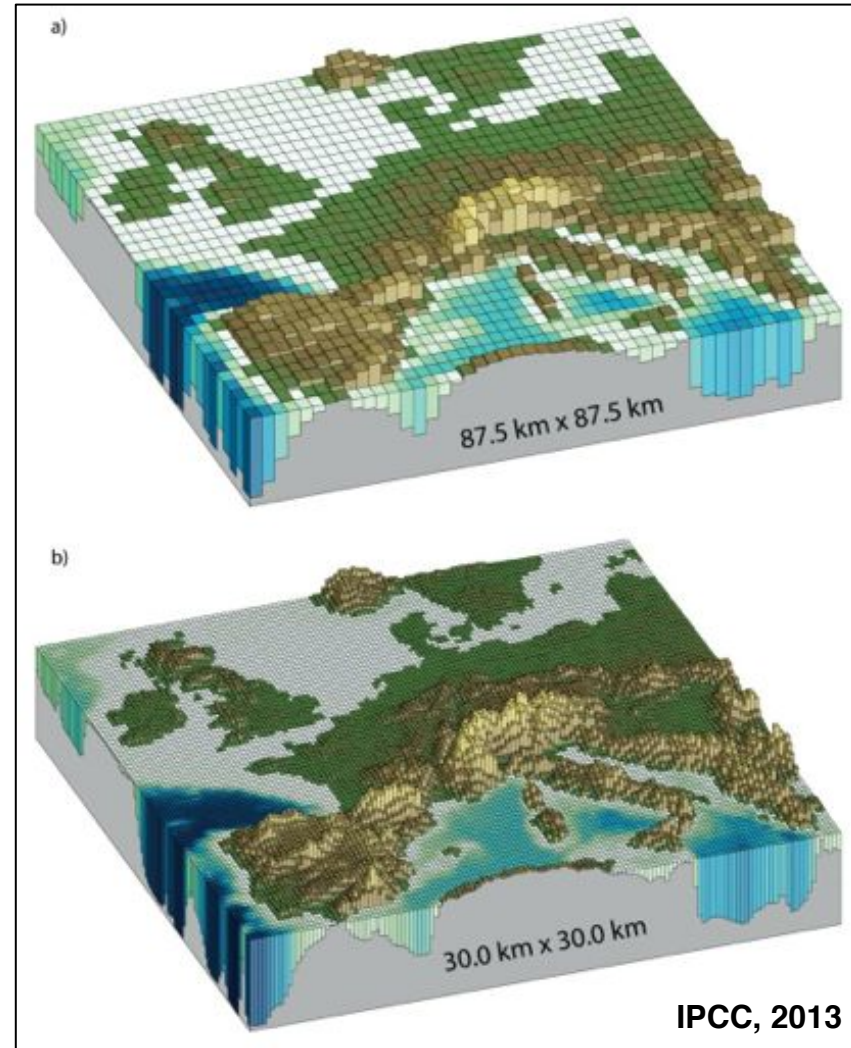
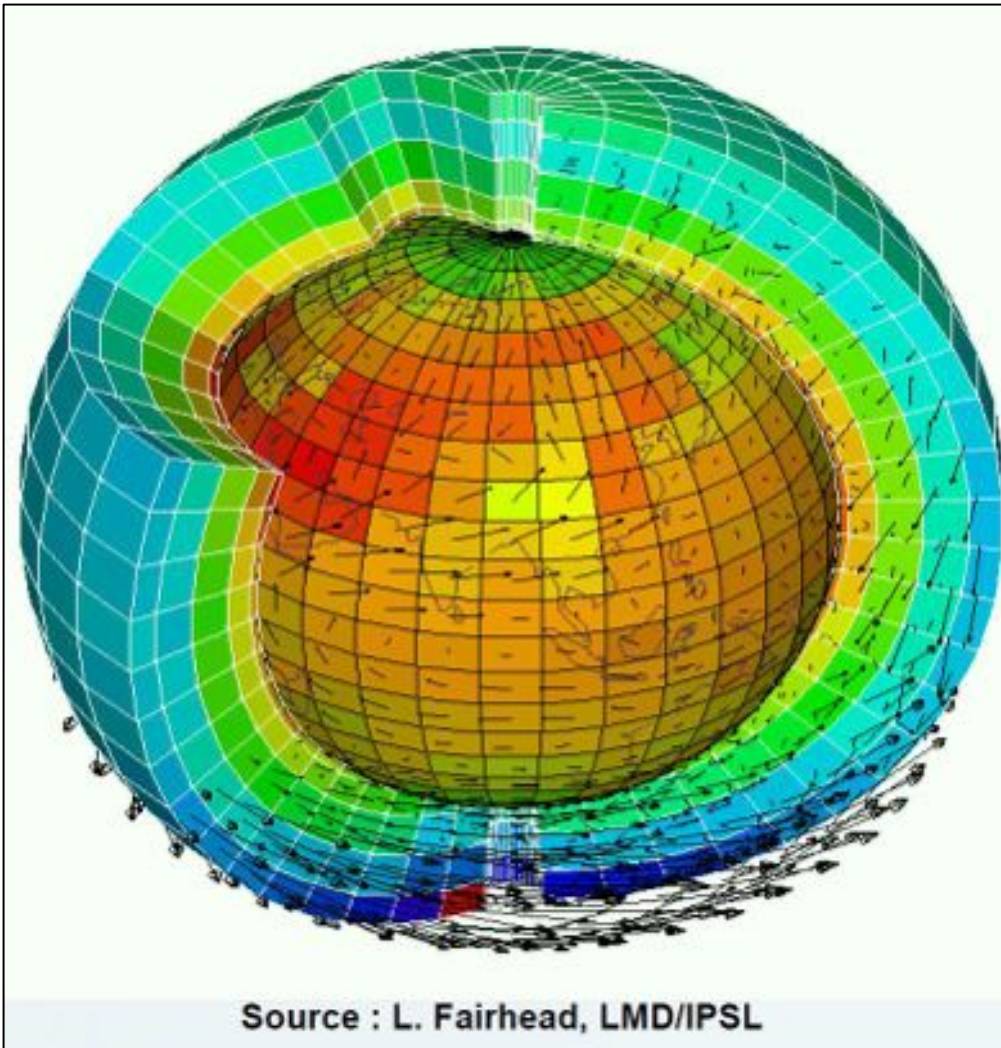
- AOGCM : Atmosphere-Ocean General Circulation Models
- ESM : Earth System Models
- ESMIC : Earth System Models of Intermediate Complexity
- RCM : Regional Climate Models

✓ Des simplifications nécessaires faussent en partie les résultats (paramétrisations) :

- **Atmosphère** : convection / nuages
- **Continent** : végétation / sols / quantité d'eau dans les sols
- **Banquise** : albédo / déformation / salinité

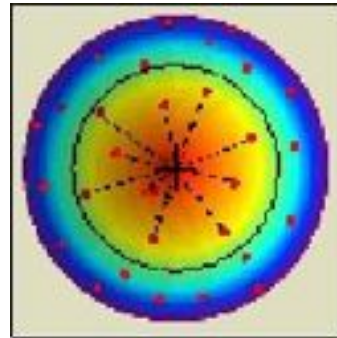


Méthode : comment modéliser de l'information ?



□ Démarche empirique :

- ✓ Logique qui s'appuie sur l'observation (échantillon de données : réseau de mesures)
- ✓ Les phénomènes physiques sont sous-entendus
- ✓ Logique la plus économique en données et en temps
- ✓ Résultats valables pour l'espace étudié
- ✓ Deux options possibles : existe-t-il une autocorrélation spatiale entre les points d'observation ? Il faut alors établir un variogramme :
 - Oui, la valeur d'un point dépend de celles de ses voisins : autorise les techniques dites d'interpolation spatiale (Inverse distance weighting, kriging, Spline function...)



Illustrations
MapInfo, VM



- Non, aucune influence entre les points les plus proches : régression environnementale

Méthode de downscaling statistique : la régression environnementale

- ❑ A partir de variables dites explicatives (données topographiques et autres) il s'agit de calculer la variable climatique recherchée (températures minimales T_n , températures maximales T_x et précipitations P) à une résolution de 90 m.
- ❑ Régression linéaire multiple pas à pas : $y = ax_1 + bx_2 + cx_3 + \dots + z$
 - ✓ Test du plus petit coefficient de corrélation partiel selon le test de Fisher Snedecor.
 - ✓ Sélection des variables explicatives après étude des coefficients de régression normalisés.
- ❑ Pertinence des modèles statistiques :
 - ✓ Coefficient de détermination : R^2
 - ✓ Etude graphique des résidus
 - ✓ Erreurs-type et RMCE
 - ✓ Cartographie des résidus
 - ✓ Validation croisée en supprimant près de la moitié des pixels d'apprentissage
 - ✓ Validation par confrontation avec les valeurs réellement mesurées (1961-1990)
- ❑ Difficulté majeure : le transfert d'échelle (de 12 km à 90 m) occasionné par la volonté d'améliorer considérablement la résolution spatiale des températures et des précipitations.
 - ✓ Est-ce que les facteurs explicatifs prépondérants à échelle topoclimatique seront pris en compte dans les modèles établis à partir de données à méso-échelle ?

- ❑ **Deux familles de données : données climatiques et données topographiques et géographiques.**

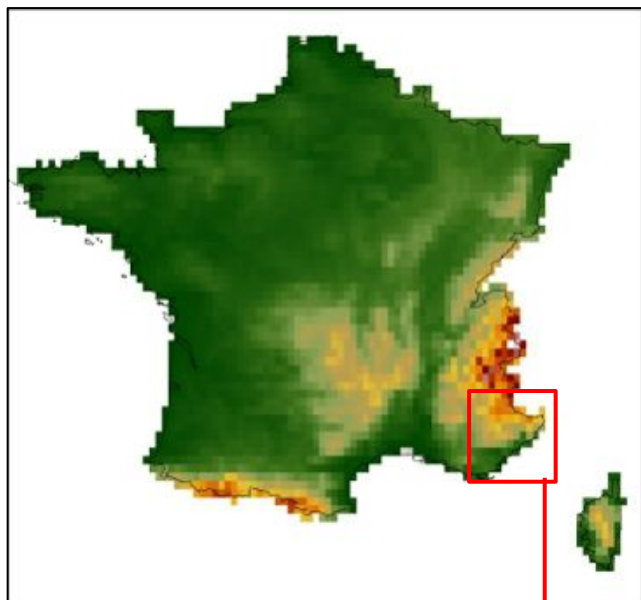
- ❑ **Données climatiques :**
 - ✓ Sorties du modèle climatique ALADIN-Climat à **12 km** de résolution * :
 - Période de référence 1961-1990
 - Périodes futures : 2071-2100 selon 3 scénarios (A1B, A2, B1).

 - ✓ Normales climatiques mensuelles de la période 1961-1990 (réseau de Météo-France dans les Alpes-Maritimes) : pour valider les sorties de modèles.

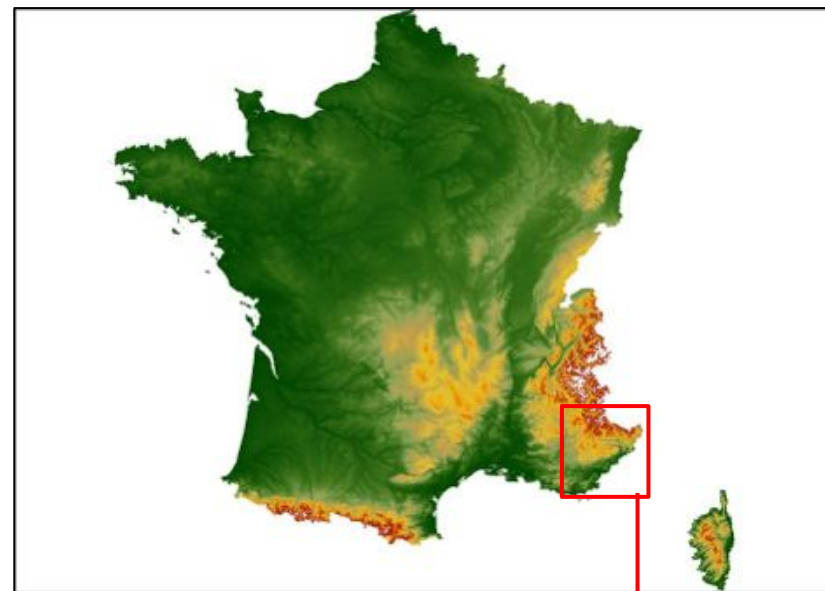
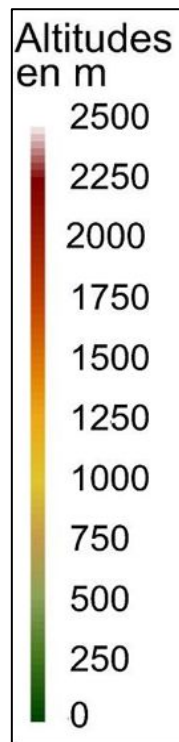
- ❑ **Données topographiques et géographiques à 90 m de résolution : M.N.T. SRTM (90 m) : par exemple :**
 - ✓ Longitude/Latitude
 - ✓ Distance à la mer
 - ✓ Altitude

* Rappel : les données s'appliquent à une surface (144 km²) et non à un point de grille

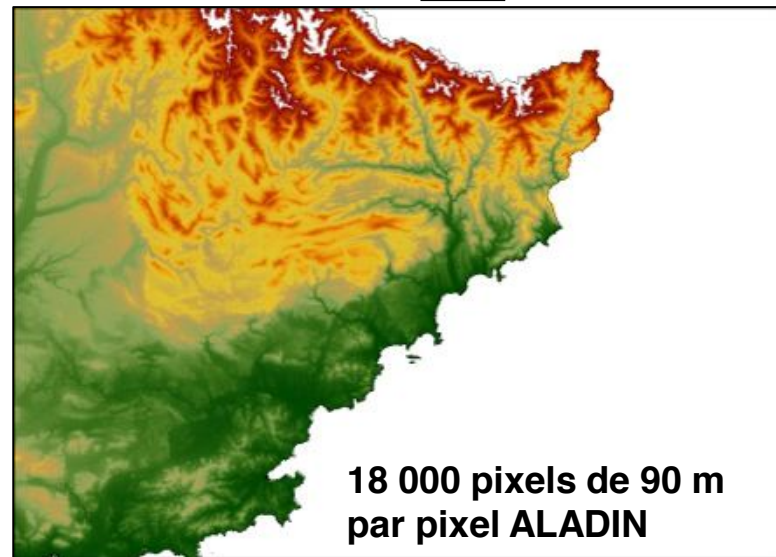
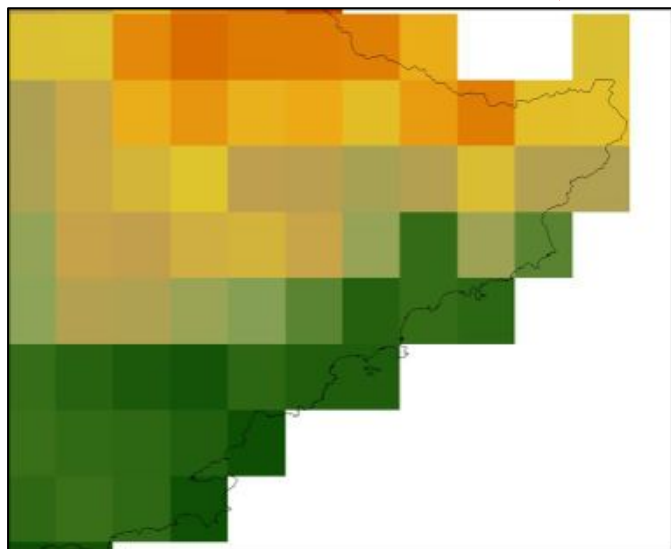
Création d'information à fine échelle spatiale par downscaling statistique



M.N.T ALADIN-Climat à **12 km**

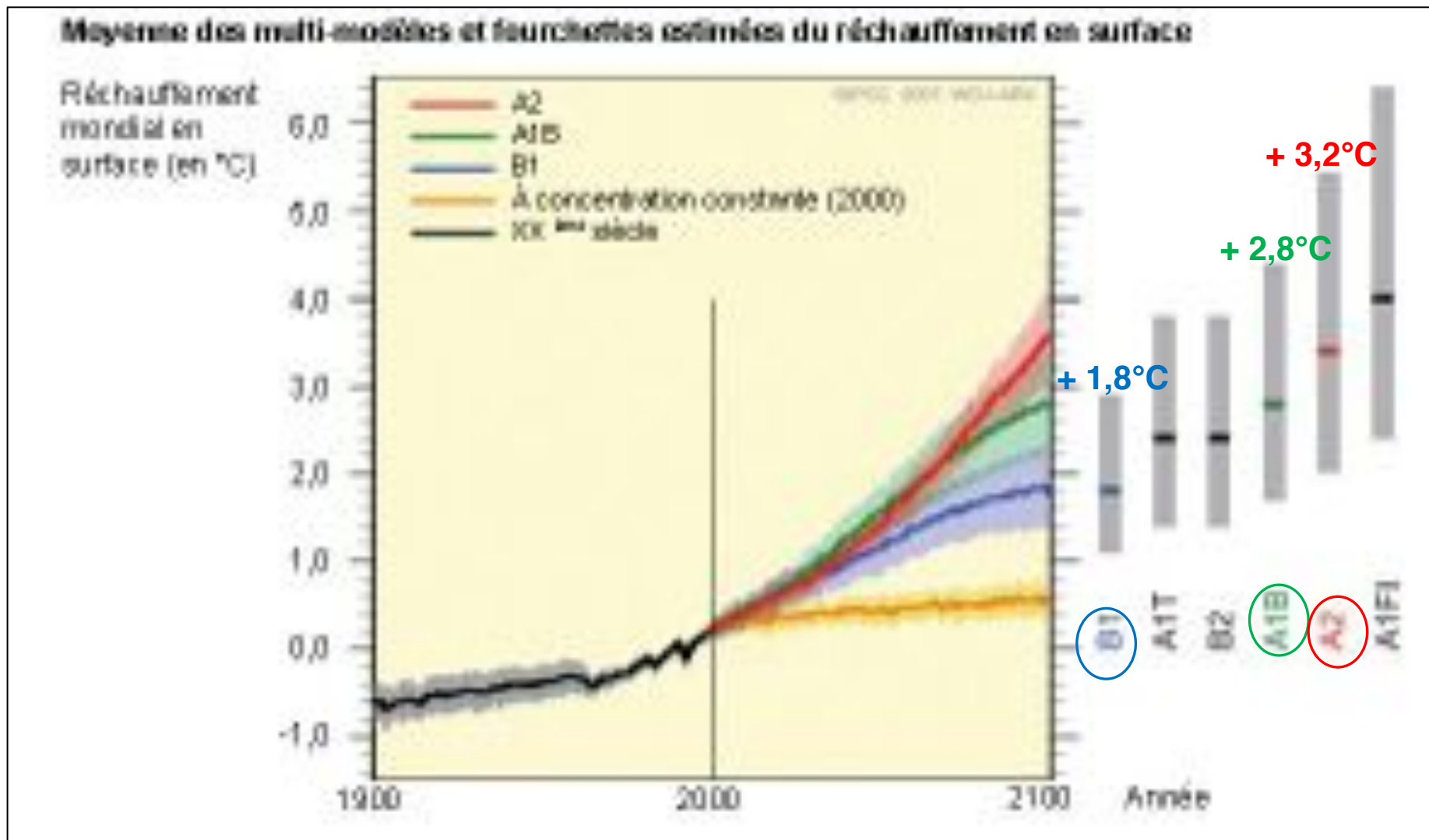


M.N.T à **90 m**



18 000 pixels de 90 m
par pixel ALADIN

Scénarios et hausses des températures moyennes



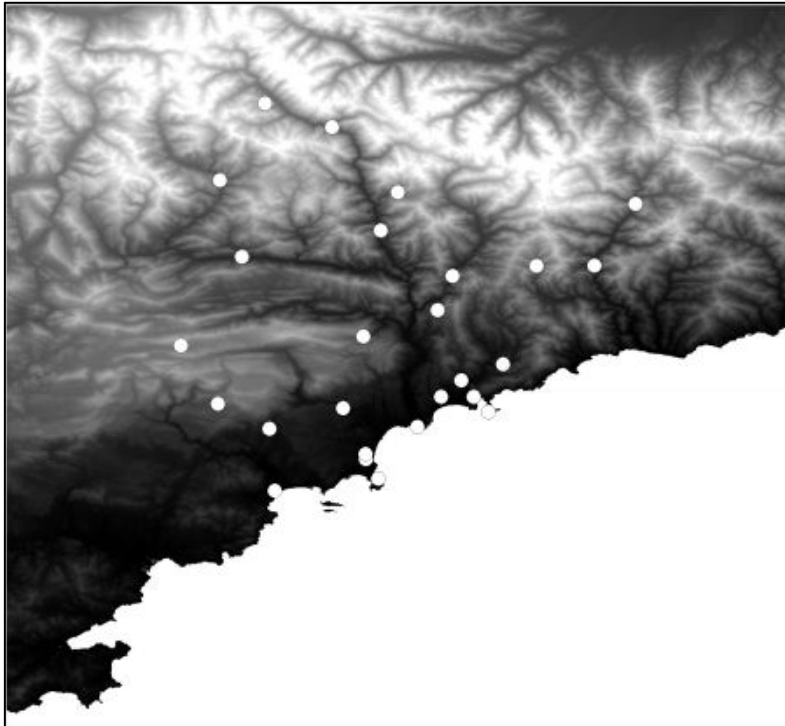
IPCC, 2007

- ❑ Pour la période de référence les coefficients de détermination sont compris entre 0,986 et 0,995 pour les Tx, et entre 0,931 et 0,948 pour les Tn. Concernant les précipitations, les coefficients de détermination sont compris entre 0,3 et 0,67 ce qui signifie que les modèles construits n'expliquent qu'une partie, parfois mince (de novembre à janvier), de la variance des précipitations issues du modèle ALADIN-Climat.
- ❑ Les erreurs-type sont très faibles, de l'ordre de 0,3 à 0,4°C pour les Tx et de 1 à 1,3°C pour les Tn. Pour les précipitations elles s'établissent entre 10 et 30 mm.

Mois	Tx-R ²	Tx erreur-type en °C	Tn-R ²	Tn erreur-type en °C	P-R ²	P erreur-type en mm
Janvier	0,989	0,31	0,941	1,07	0,3	13
Février	0,987	0,36	0,938	1,21	0,53	12
Mars	0,991	0,33	0,941	1,22	0,53	17
Avril	0,990	0,35	0,948	1,10	0,67	19
Mai	0,990	0,33	0,940	1,20	0,67	27
Juin	0,993	0,32	0,941	1,30	0,63	29
Juillet	0,991	0,36	0,942	1,27	0,61	24
Août	0,993	0,32	0,936	1,27	0,58	22
Septembre	0,994	0,29	0,931	1,22	0,65	14
Octobre	0,994	0,28	0,934	1,11	0,54	20
Novembre	0,995	0,24	0,947	0,97	0,28	21
Décembre	0,986	0,31	0,942	0,98	0,39	11

Comparaison pour chacune des 28 stations retenues pour validation, des valeurs estimées par régression avec les valeurs réellement observées 1961-1990

- ❑ 28 stations de Météo-France implantées dans des situations topographiques diverses :
 - ✓ Stations littorales (Antibes la Garoupe, Saint-Jean-Cap-Ferrat, Nice-aéroport)
 - ✓ Stations de fond de vallée (près de la moitié des postes dont : Isola, Puget-Théniers, Breil-sur-Roya, Sospel)
 - ✓ Stations de plaine (Cannes-Mandelieu, Grasse le plan, Antibes horticole)
 - ✓ Station d'altitude (Auron 1600 m, Andon 1160 m, Valdeblore 1000 m)



Les postes de mesures, répartis du littoral à la ligne de crête du massif du Mercantour au nord du domaine, donnent un échantillon assez représentatif de la topographie du département

Comparaison pour chacune des 28 stations retenues pour validation, des valeurs estimées par régression avec les valeurs réellement observées 1961-1990

- ❑ Les coefficients de détermination entre les normales climatiques et nos calculs évoluent entre 0,51 et 0,75 pour les Tn, entre 0,59 et 0,87 pour les Tx et enfin entre 0,19 et 0,89 pour les P.
- ❑ Les écarts mensuels moyens constatés entre les normales climatiques et nos calculs s'échelonnent entre 1,9 et 2,9°C pour les Tn, entre 0,8 et 2,7°C pour les Tx et entre 11 et 40 mm pour les P.

Mois	Tn-R ²	Tn écarts en °C	Tx-R ²	Tx écarts en °C	P-R ²	P écarts en mm	P écarts en mm (Aladin-MF)
Janvier	0,7	2,8	0,7	1,4	0,23	18	37
Février	0,73	2,5	0,87	0,8	0,19	25	43
Mars	0,72	2,3	0,86	1,6	0,29	13	24
Avril	0,71	2,0	0,83	2,3	0,42	14	39
Mai	0,74	1,9	0,79	1,7	0,82	21	58
Juin	0,63	2,8	0,76	1,1	0,89	22	54
Juillet	0,51	2,8	0,75	1,9	0,86	17	62
Août	0,62	2,7	0,82	1,5	0,82	11	45
Septembre	0,7	2,0	0,8	2,1	0,55	17	24
Octobre	0,73	2,5	0,82	2,7	0,25	40	43
Novembre	0,75	2,4	0,81	1,5	0,49	24	27
Décembre	0,69	2,9	0,59	1,8	0,27	26	45

La dernière colonne expose pour les précipitations les écarts moyens entre les sorties du modèles ALADIN-Climat et les mesures de Météo-France

LE FUTUR : construction de nouveaux modèles avec la même méthode, puis on calcule les valeurs pour chacun des 700 000 pixels

Écart moyen : 2,8°C

Tn de juillet

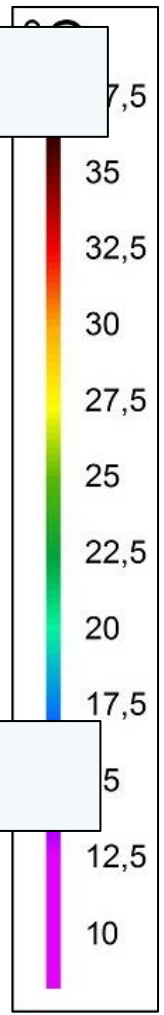
Tn juillet
3*encais

Tn juillet
3*encais

	Normales 1961-1990	Modèle 1961-1990	Modèle B1	Modèle A1B	Modèle A2
ANDON	9,8	9,4	13,4	15,0	16,0
ANTIBES HORTICOLE	17,1	19,0	22,9	24,4	25,6
ANTIBES MOULIERES	14,9	19,2	23,1	24,5	25,7
ANTIBES-GAROUPE	19,2	18,5	22,7	24,0	25,2
AURON	10,4	5,2	9,4	11,0	12,0
BOUYON	14,9	13,7	17,4	19,0	20,1
BREIL SUR ROYA	15,7	17,8	21,0	22,7	23,9
CANNES MANDELIEU	17,4	19,9	23,6	25,0	26,3
CLANS	13,5	17,7	20,7	22,5	23,7
COL VILLEFRANCHE	18,3	18,0	21,9	23,3	24,5
GRASSE LE PLAN	16,7	18,5	22,0	23,6	24,8
GUILLAUMES	11,2	12,8	16,4	18,1	19,2
ISOLA	11,1	13,2	16,4	18,1	19,3
LA COLLE LAURON	12,7	19,8	23,1	24,8	26,0
LEVENS	14,4	14,1	17,8	19,5	20,5
MOULINET	12,7	13,5	17,0	18,6	19,7
NICE AEROPORT	19,3	19,3	23,4	24,6	25,9
NICE RIMIEZ	16,7	17,9	21,6	23,1	24,3
NICE ST PIERRE DE FERIC	17,6	17,9	21,8	23,2	24,4
PEILLON	12,8	17,8	21,6	23,1	24,3
PUGET THENIERS	13,7	16,3	19,7	21,5	22,7
SAINT DALMAS DE TENDE	13,3	14,3	17,8	19,4	20,5
SAINT JEAN CAP FERRAT	20,1	18,6	22,5	23,8	25,1
SAINT JEAN LA RIVIERE	13,2	17,9	21,0	22,7	23,9
SAINT MARTIN VESUBIE	12,7	11,7	15,2	16,8	18,0
SAINT VALLIER DE THIEY	13,4	14,0	17,7	19,3	20,4
SOSPEL	12,9	17,1	20,5	22,1	23,3
VALDEBLORE	11,8	12,0	15,4	17,1	18,2

6.10-
mer

10-
mer



A1B 2071-2100

A2 2071-2100

LE FUTUR : construction de nouveaux modèles avec la même méthode, puis on calcule les valeurs pour chacun des 700 000 pixels

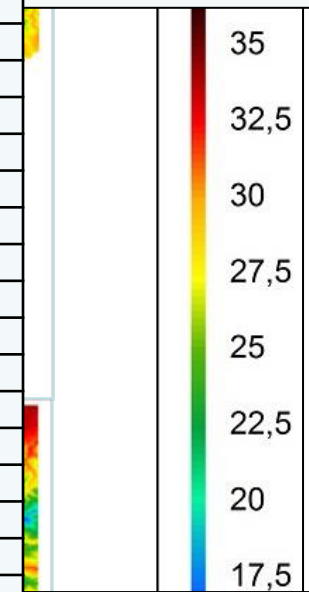
Écart moyen : 1,9°C

Tx de juillet

Tx juillet
3*rugosité

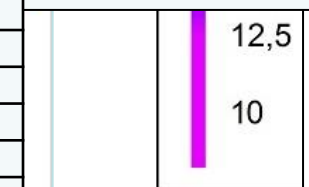
	Normales 1961-1990	Modèle 1961-1990	Modèle B1	Modèle A1B	Modèle A2
ANDON	22,9	21,5	24,5	26,3	27,1
ANTIBES HORTICOLE	28,6	27,7	30,7	31,9	32,9
ANTIBES MOULIERES	28,8	27,9	30,9	32,1	33,1
ANTIBES-GAROUPE	27,9	26,5	29,4	30,3	31,4
AURON	20,6	19,7	22,6	24,2	25,0
BOUYON	26,4	23,5	26,8	28,6	29,6
BREIL SUR ROYA	29,1	27,1	30,2	31,8	32,9
CANNES MANDELIEU	26,7	27,2	30,2	31,3	32,4
CLANS	28,5	27,5	30,8	32,7	33,8
COL VILLEFRANCHE	28,1	26,2	29,1	30,2	31,3
GRASSE LE PLAN	27,6	27,5	30,8	32,5	33,6
GUILLAUMES	27,4	25,4	28,5	30,4	31,2
ISOLA	26,8	24,6	27,7	29,4	30,5
LA COLLE LAURON	29,1	28,7	31,9	33,6	34,7
LEVENS	28,1	24,4	27,6	29,2	30,3
MOULINET	25,4	23,4	26,6	28,1	29,2
NICE AEROPORT	26,4	26,0	28,9	29,5	30,6
NICE RIMIEZ	27,4	26,6	29,7	31,1	32,2
NICE ST PIERRE DE FERIC	26,2	26,5	29,5	30,7	31,8
PEILLON	29,8	26,7	29,8	31,3	32,3
PUGET THENIERS	31,4	27,2	30,4	32,5	33,5
SAINT DALMAS DE TENDE	25,3	24,7	27,7	29,4	30,4
SAINT JEAN CAP FERRAT	26,3	25,4	28,3	29,2	30,3
SAINT JEAN LA RIVIERE	28,8	27,4	30,7	32,4	33,5
SAINT MARTIN VESUBIE	24,8	22,8	25,8	27,5	28,5
SAINT VALLIER DE THIEY	26,6	24,4	27,7	29,3	30,3
SOSPEL	28,8	26,5	29,3	30,9	32,0
VALDEBLORE	24,7	22,6	25,8	27,4	28,5

2,83.10⁻
distance_mer



Tx juillet
3*rugosité

36.10⁻
ce_mer



A1B 2071-2100

A2 2071-2100

LE FUTUR : construction de nouveaux modèles avec la même méthode, puis on calcule les valeurs pour chacun des 700 000 pixels

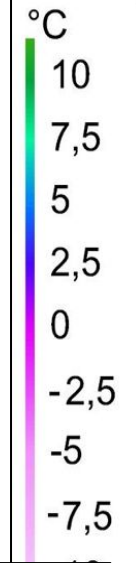
Écart moyen : 2,8°C

Tn de janvier

Tn janv
3*encal

82.10⁻

	Normales 1961-1990	Modèle 1961-1990	Modèle B1	Modèle A1B	Modèle A2
VANDON	-3,4	-6,3	-4,6	-3,5	-3,3
ANTIBES HORTICOLE	3,0	2,3	3,9	5,2	5,5
ANTIBES MOULIERES	0,6	2,2	3,8	5,1	5,4
ANTIBES-GAROUPE	5,7	3,1	5,0	6,5	6,9
AURON	-4,3	-10,6	-8,6	-7,4	-7,2
BOUYON	0,8	-3,0	-1,7	-0,7	-0,5
BREIL SUR ROYA	1,2	-1,9	-0,8	-0,1	0,1
CANNES MANDELIEU	3,3	3,7	5,3	6,5	6,8
CLANS	-1,8	-2,3	-1,3	-0,9	-0,7
COL VILLEFRANCHE	4,9	1,7	3,4	4,7	5,0
GRASSE LE PLAN	3,4	0,2	1,2	2,0	2,2
GUILLAUMES	-5,6	-6,0	-4,6	-3,8	-3,7
ISOLA	-3,6	-6,3	-4,9	-4,4	-4,3
LA COLLE LAURON	-0,3	0,9	2,0	2,7	3,0
LEVENS	-0,5	-2,7	-1,5	-0,5	-0,3
MOULINET	-1,0	-4,1	-2,8	-1,9	-1,7
NICE AEROPORT	4,9	5,0	6,6	7,8	8,2
NICE RIMIEZ	2,7	0,7	2,0	3,1	3,4
NICE ST PIERRE DE FERIC	3,6	1,5	3,1	4,3	4,6
PEILLON	-1,4	0,0	1,4	2,5	2,7
PUGET THENIERS	-2,6	-3,2	-2,1	-1,4	-1,2
SAINT DALMAS DE TENDE	-1,0	-4,7	-3,4	-2,6	-2,4
SAINT JEAN CAP FERRAT	7,3	3,1	5,1	6,5	6,9
SAINT JEAN LA RIVIERE	-1,9	-1,7	-0,8	-0,2	0,0
SAINT MARTIN VESUBIE	-1,1	-6,6	-5,1	-4,3	-4,2
SAINT VALLIER DE THIEY	-0,1	-2,8	-1,6	-0,7	-0,5
SOSPEL	-2,2	-1,7	-0,5	0,3	0,5
VALDEBLORE	-2,0	-5,5	-4,3	-3,5	-3,4



Tn janv
4*encal

51.10⁻

5

A1B 2071-2100

A2 2071-2100

LE FUTUR : construction de nouveaux modèles avec la même méthode, puis on calcule les valeurs pour chacun des 700 000 pixels

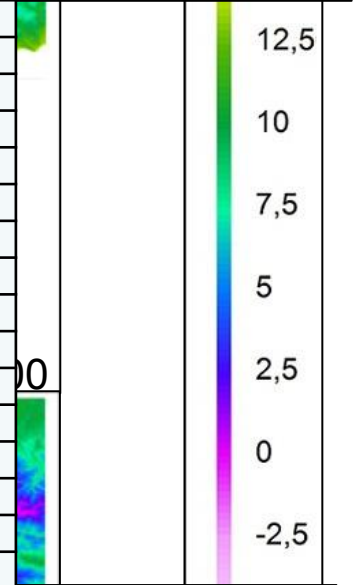
Écart moyen : 1,4°C

Tx de janvier

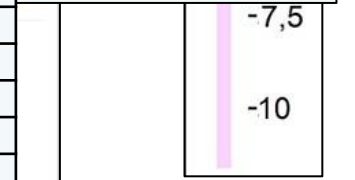
Tx jan
4*rugo

3,52.10⁻
istance_mer

	Normales 1961-1990	Modèle 1961-1990	Modèle B1	Modèle A1B	Modèle A2
ANDON	5,5	4,7	5,9	6,7	6,7
ANTIBES HORTICOLE	12,9	11,2	12,7	13,7	13,8
ANTIBES MOULIERES	13,2	11,3	12,8	13,7	13,8
ANTIBES-GAROUPE	12,0	11,0	12,7	13,7	13,8
AURON	3,6	4,5	6,2	7,0	6,9
BOUYON	8,7	6,2	7,4	8,3	8,2
BREIL SUR ROYA	10,8	10,2	11,6	12,5	12,3
CANNES MANDELIEU	12,7	11,7	13,3	14,3	14,4
CLANS	7,8	9,6	10,9	11,7	11,6
COL VILLEFRANCHE	12,7	10,5	12,1	13,1	13,2
GRASSE LE PLAN	12,1	9,9	11,2	12,2	12,0
GUILLAUMES	6,8	8,1	9,5	10,2	10,1
ISOLA	5,7	8,6	10,1	11,0	10,8
LA COLLE LAURON	10,6	10,8	12,1	13,0	12,9
LEVENS	9,6	7,3	8,8	9,7	9,6
MOULINET	8,6	7,2	8,8	9,7	9,5
NICE AEROPORT	12,5	12,5	14,3	15,3	15,6
NICE RIMIEZ	11,0	9,9	11,3	12,3	12,3
NICE ST PIERRE DE FERIC	10,3	10,2	11,7	12,7	12,7
PEILLON	8,3	10,0	11,4	12,2	12,2
PUGET THENIERS	8,7	8,9	10,1	10,9	10,8
SAINT DALMAS DE TENDE	7,6	8,4	9,9	10,6	10,5
SAINT JEAN CAP FERRAT	12,1	11,1	12,8	13,8	14,0
SAINT JEAN LA RIVIERE	8,4	9,6	10,9	11,8	11,7
SAINT MARTIN VESUBIE	7,6	7,1	8,6	9,4	9,2
SAINT VALLIER DE THIEY	9,4	7,4	8,8	9,7	9,6
SOSPEL	10,4	9,6	10,6	11,5	11,4
VALDEBLORE	7,1	7,0	8,5	9,4	9,2



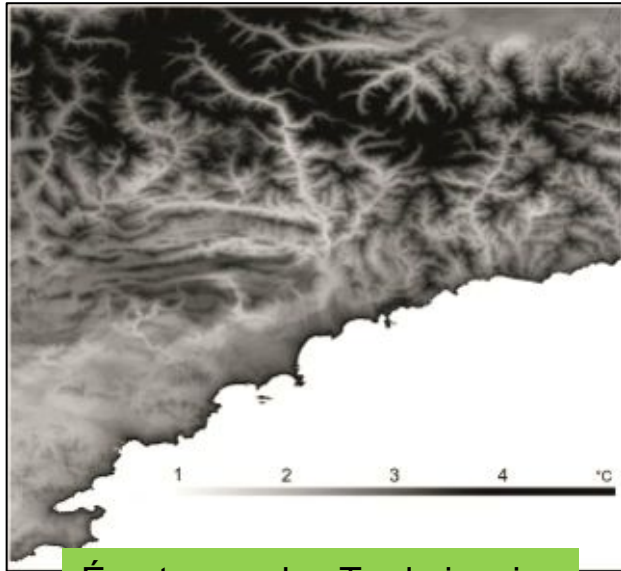
6,96.10⁻
ce_mer



A1B 2071-2100

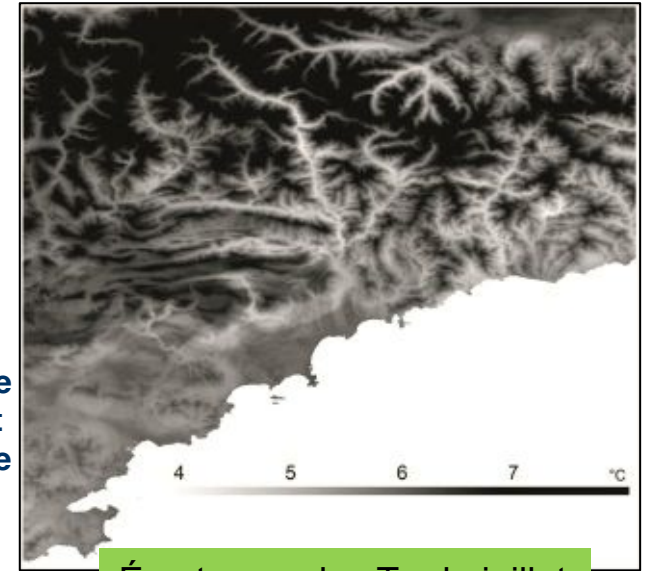
A2 2071-2100

LE FUTUR : Hausses des températures par rapport à la période de référence 1961-1990 pour la fin du XXI^e siècle selon le scénario A2



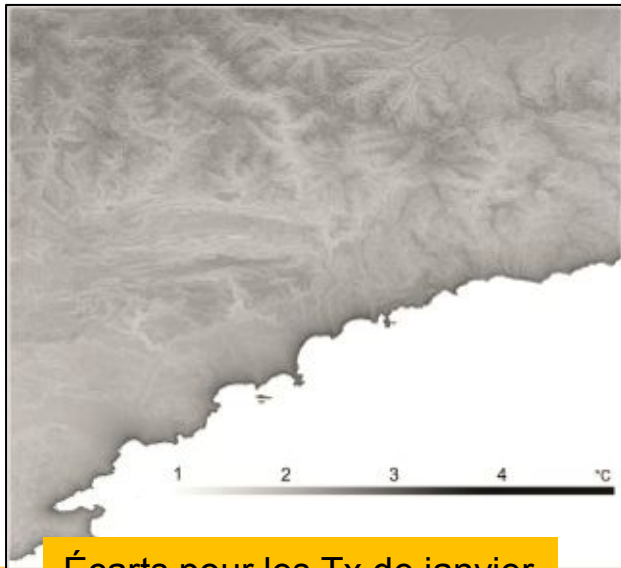
+3°C en moyenne
Réchauffement plus fort
à haute altitude et sur le
littoral

Écarts pour les Tn de janvier



+6,7°C en moyenne
Réchauffement plus fort
à moyenne et haute altitude

Écarts pour les Tn de juillet



+2,2°C en moyenne
Réchauffement plus fort
sur le littoral

Écarts pour les Tx de janvier



+5,5°C en moyenne
Réchauffement plus fort
dans l'intérieur à moyenne
altitude

Écarts pour les Tx de juillet

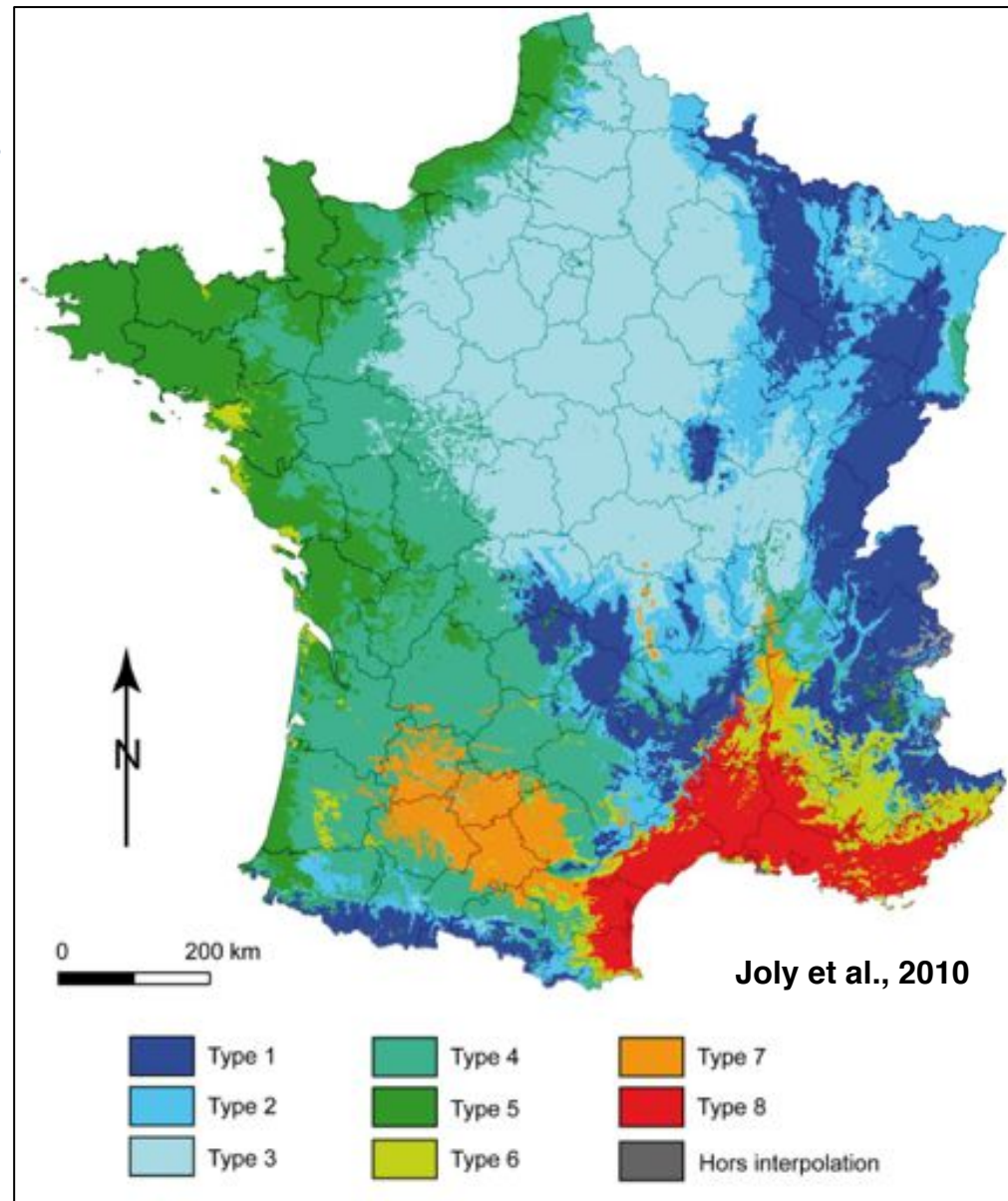
- ❑ Par rapport aux méthodes traditionnellement utilisées en downscaling statistique, le résultat est spatialisé : il concerne une surface continue constituée de nombreux pixels, et non un ou quelques points isolés .
- ❑ Le mode de construction du modèle de régression minimise au maximum (si l'on peut dire) les problèmes liés au changement d'échelle de 12 km à 90 m, puisque les caractéristiques « environnementales » des pixels ALADIN sont établies par la somme de celles des pixels de 90 m qui les composent .
- ❑ Les résultats paraissent assez satisfaisants pour les températures (mais pas pour les précipitations), malgré l'emboîtement de deux modélisations, et sont produits à une échelle permettant aux « utilisateurs » un certain nombre de décisions et d'actions que l'échelle d'ALADIN-Climat ne pouvait pas autoriser.
- ❑ Les résultats obtenus laissent penser que l'ampleur des hausses de températures minimales et maximales provoquera nécessairement des changements dans l'économie touristique des Alpes-Maritimes en hiver (enneigement du massif du Mercantour) mais potentiellement en été également (disponibilité de la ressource en eau).

Evolution de la distribution spatiale du climat méditerranéen en France

❑ Typologie des climats 1971-2010 fondée sur les températures et les précipitations dans respectivement 2031 et 651 postes de mesures (Joly et al., 2010)

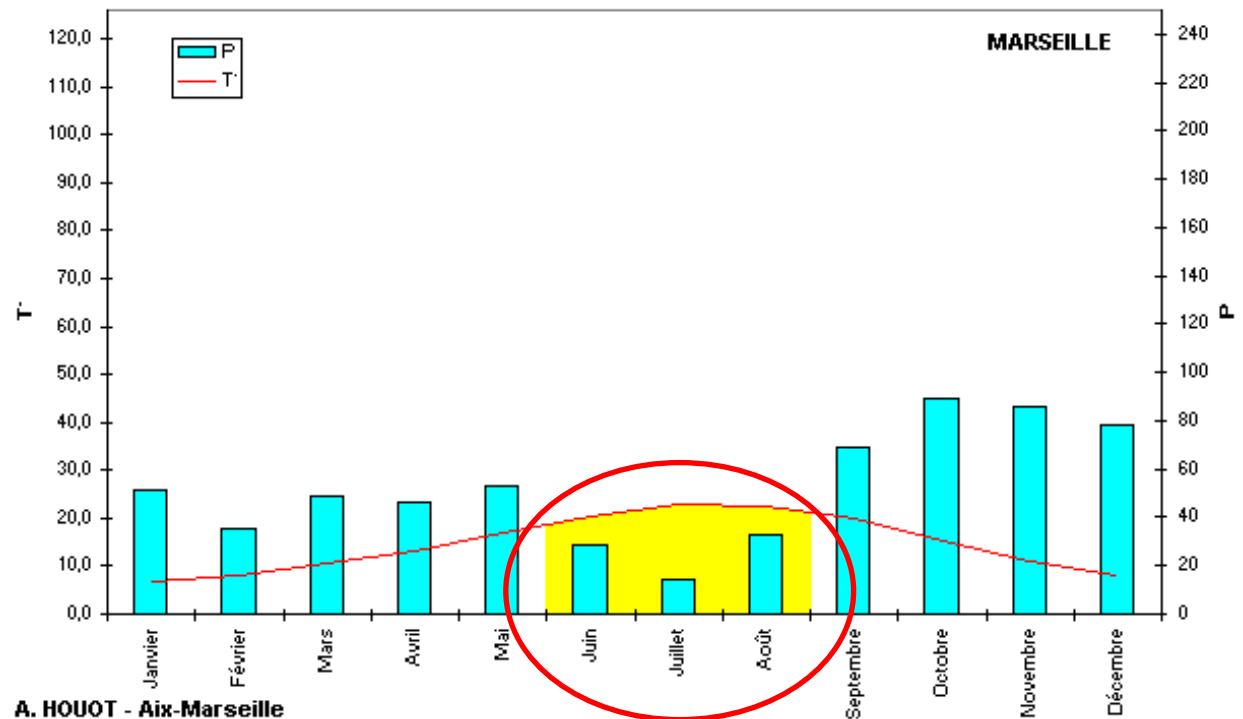
❑ Climat méditerranéen franc : tempéré avec été chaud et sec (anticyclone subtropical) et hiver doux et humide

- ❑ Type 1 : climat de montagne
- ❑ Type 2 : climat semi-continental et climat des marges montagnardes
- ❑ Type 3 : climat océanique dégradé des plaines du Centre et du Nord
- ❑ Type 4 : climat océanique altéré
- ❑ Type 5 : climat océanique franc
- ❑ Type 6 : climat océanique
- ❑ Type 7 : climat du Bassin du Sud-Ouest



Evolution de la distribution spatiale du climat méditerranéen en France

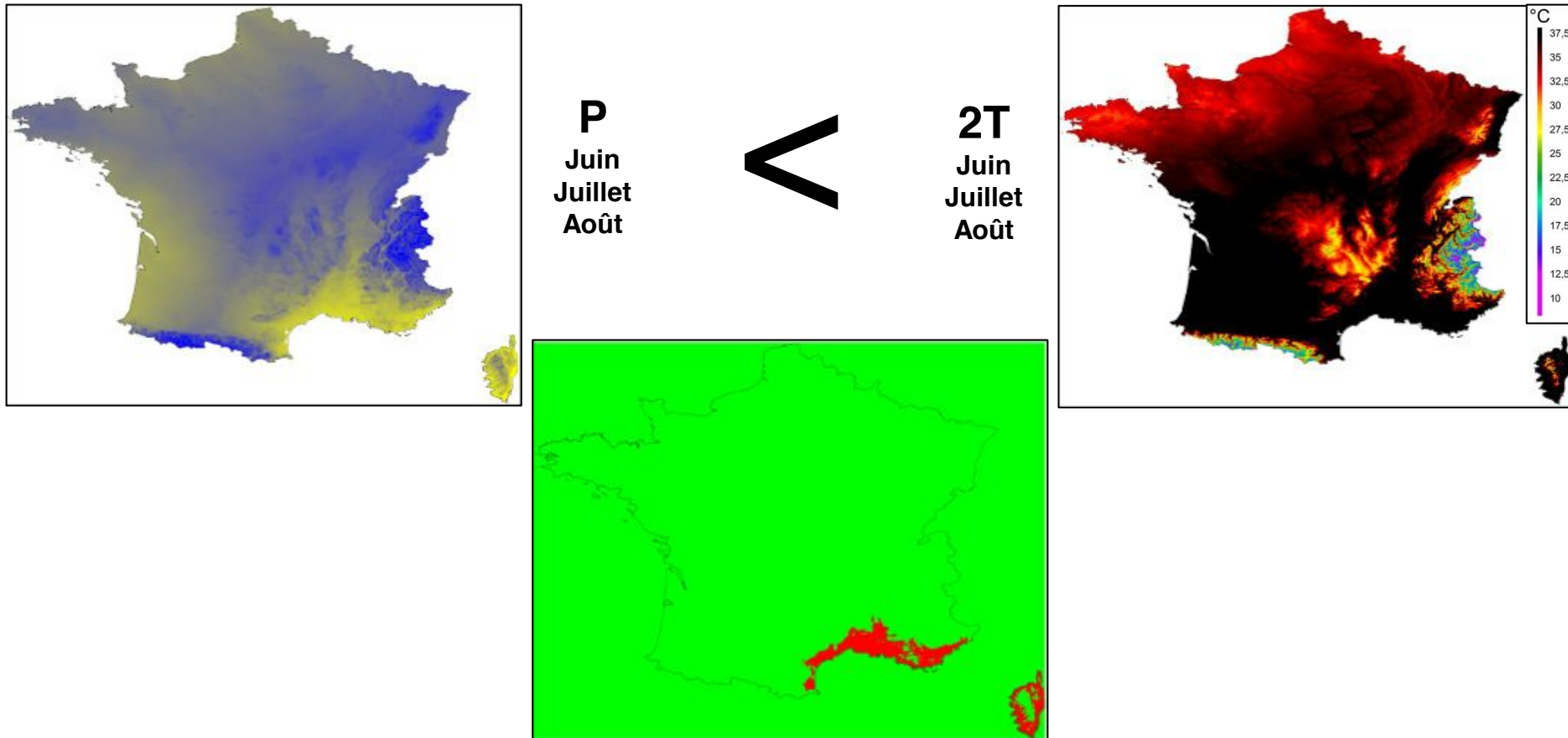
- ❑ Diagramme ombrothermique : proposé par H. Gaussen (botaniste et biogéographe), permet de définir les périodes de stress hydrique pour la végétation, correspond relativement bien aux limites botaniques en milieu méditerranéen (Charre, 1997).
- ❑ Formule : $P = 2T$
- ❑ $P < 2T = \text{sécheresse}$



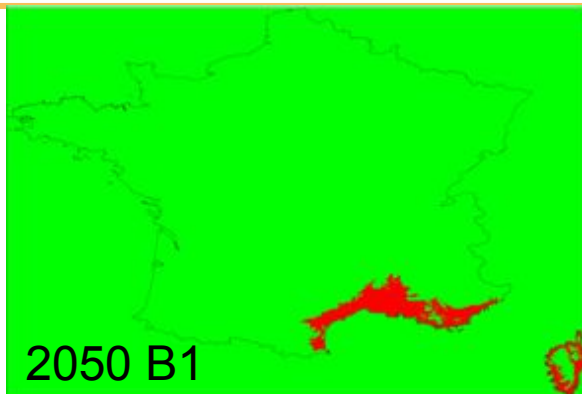
été sec caractéristique
du climat méditerranéen

Evolution de la distribution spatiale du climat méditerranéen en France

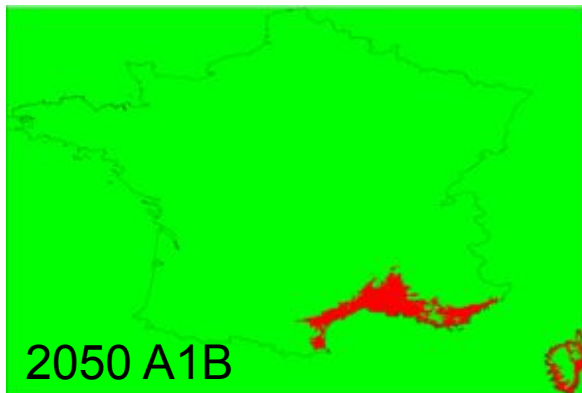
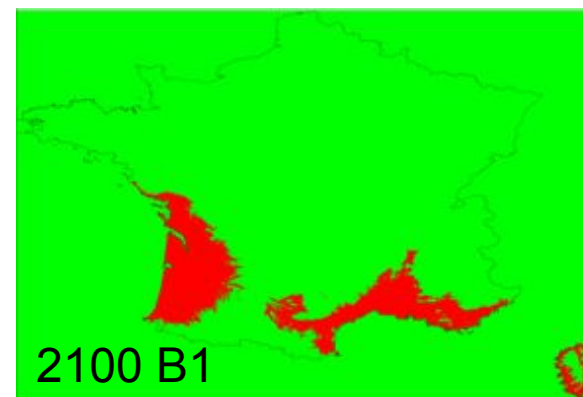
- ❑ Spatialisation à 1 km des températures minimales/maximales et des précipitations par downscaling statistique effectué sur les sorties d'ARPEGE-Climat (50 km de résolution spatiale) à l'échelle de la France.
- ❑ Application de la formule du diagramme ombrothermique $P < 2T$ pour déceler les espaces concernés par une période de sécheresse continue durant les mois de juin, juillet et août :



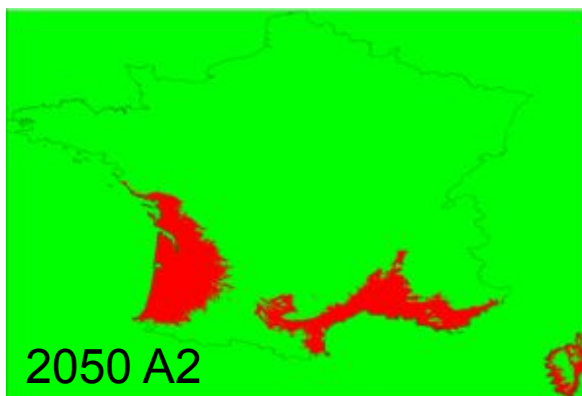
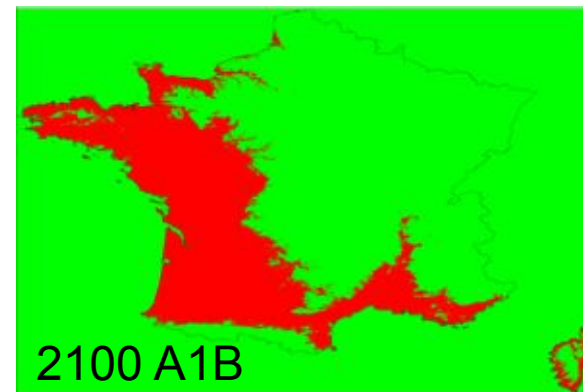
Evolution de la distribution spatiale du climat méditerranéen en France



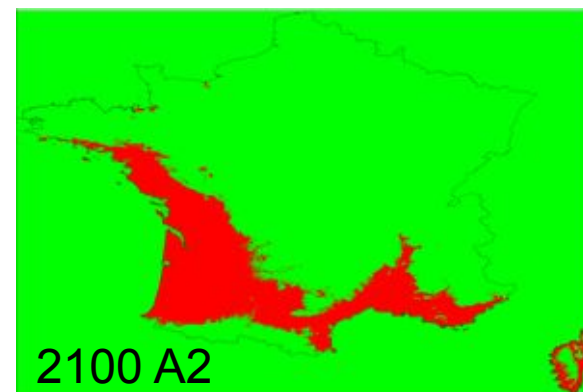
Peu de changements
pour 2050 avec B1 et
A1B



Extension très marquée
du climat méditerranéen
vers l'ouest français
en 2100

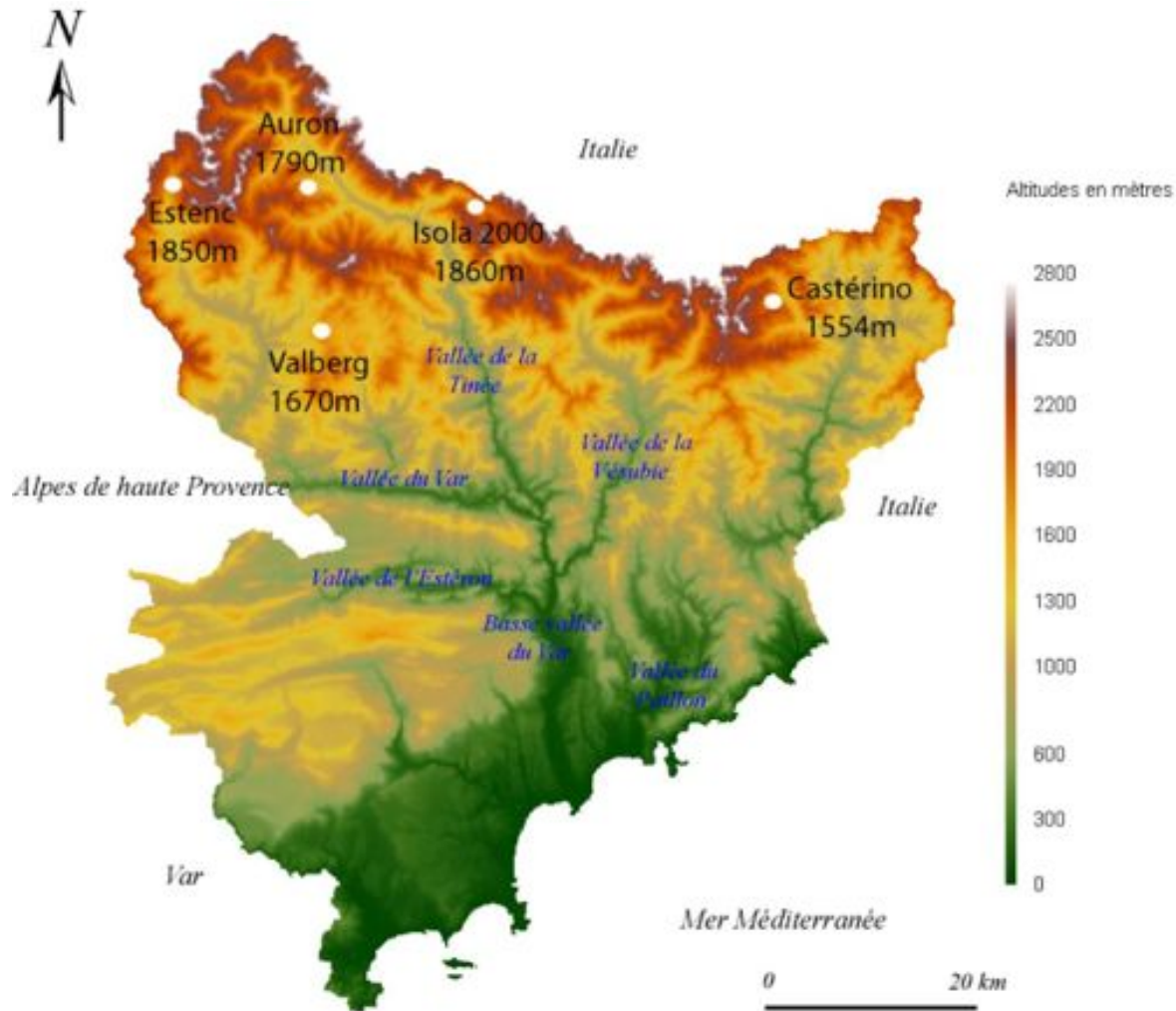


Extension marquée du
climat méditerranéen
vers le sud ouest
français avec A2 en 2050



Evolution du potentiel d'enneigement dans les Alpes-Maritimes

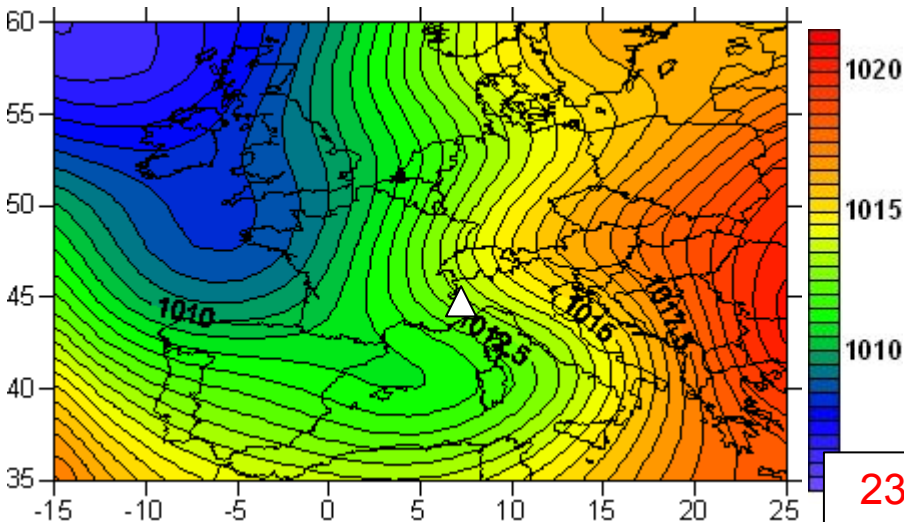
- Plusieurs stations de sports d'hiver sont implantées dans les Alpes-Maritimes : les plus connues sont Isola 2000 (1800 m - 2610 m), Auron (1250 m - 2450 m) et Valberg (1700 m - 2066 m)



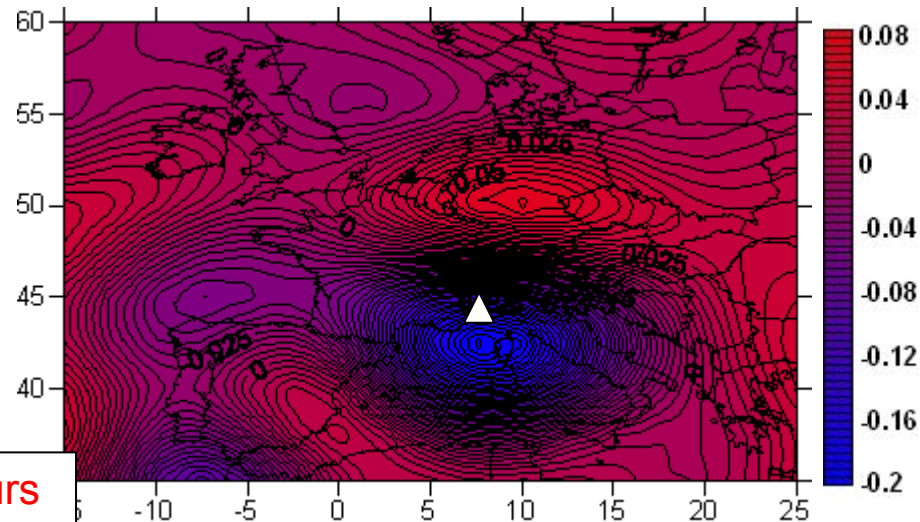
Evolution du potentiel d'enneigement dans les Alpes-Maritimes

Type de circulation atmosphérique produisant de fortes chutes de neige dans le sud des Alpes

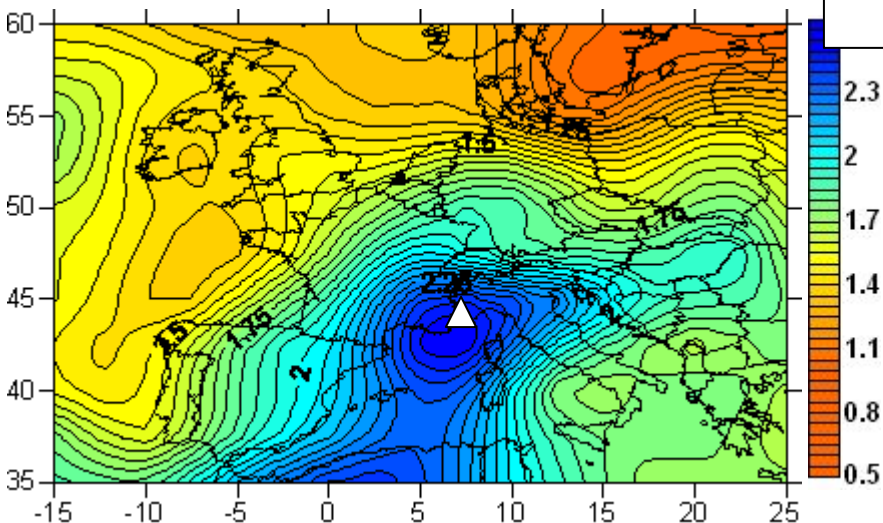
Pression en surface en hPa



Vitesse verticale à 850 hPa en Pa/s

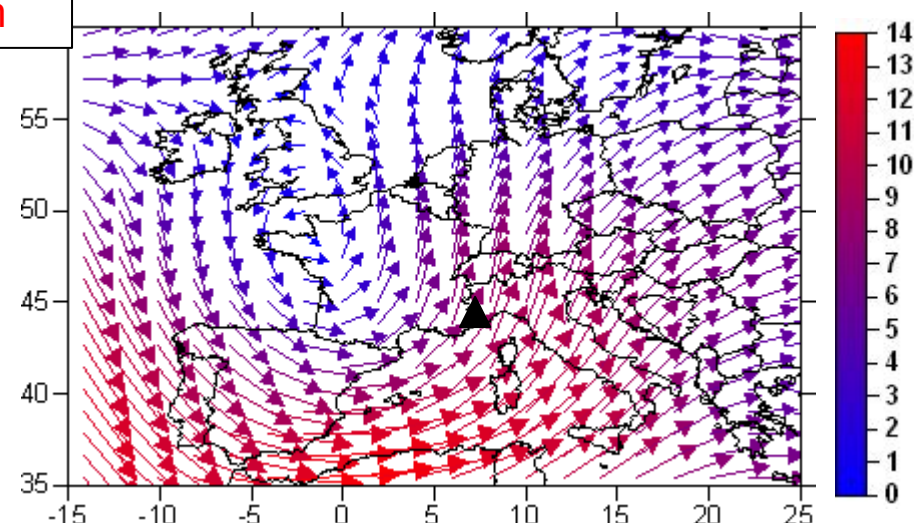


Humidité spécifique à 700 hPa en g/kg d'air humide



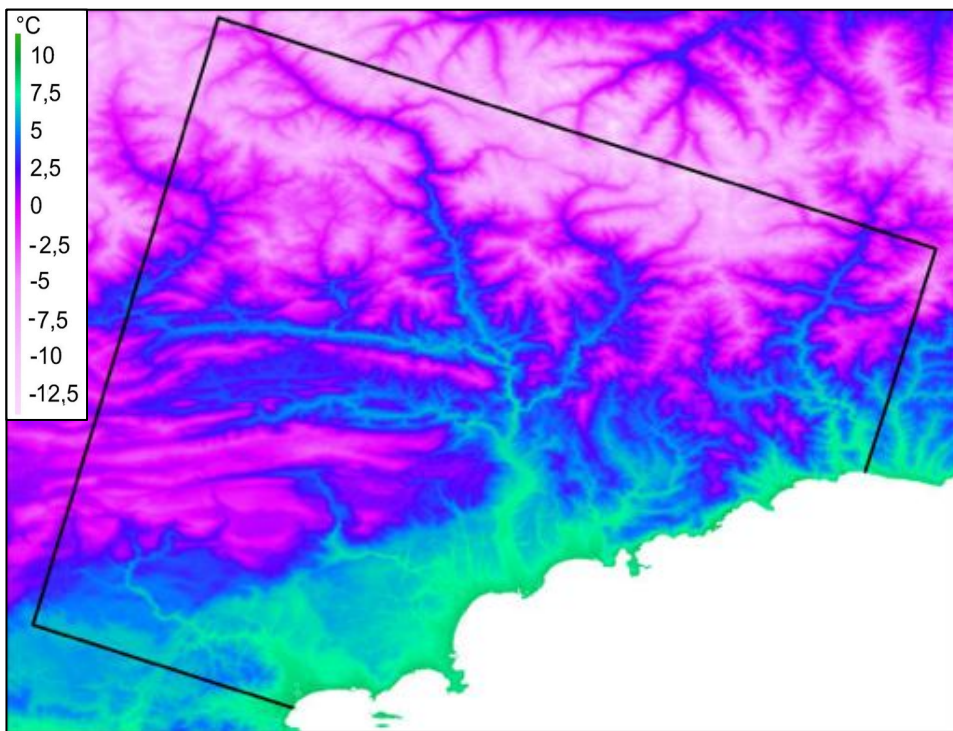
235 jours
sur 40 ans
32 cm

Vitesse et direction du flux à 700 hPa en m/s

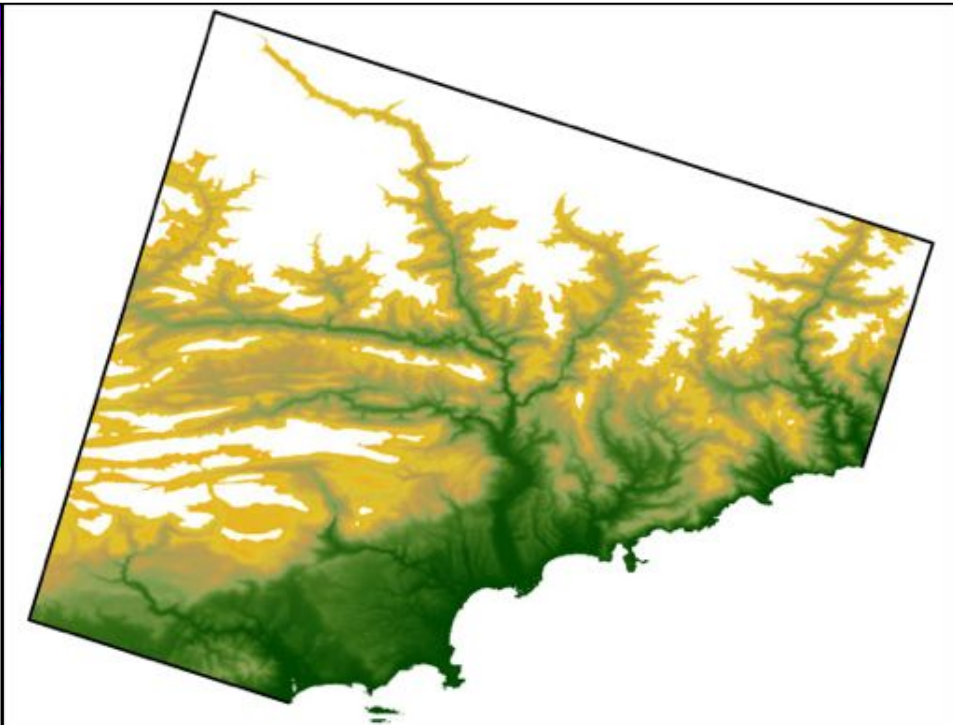


Evolution du potentiel d'enneigement dans les Alpes-Maritimes

- ❑ Une fois la chute de neige produite, l'évolution du manteau neigeux est étroitement lié aux conditions de températures.
- ❑ L'hypothèse retenue pour apprécier la remontée de la limite d'enneigement est la caractérisation de l'altitude de l'isotherme 0 à partir de la température moyenne mensuelle : $(T_{min} + T_{max}) / 2$

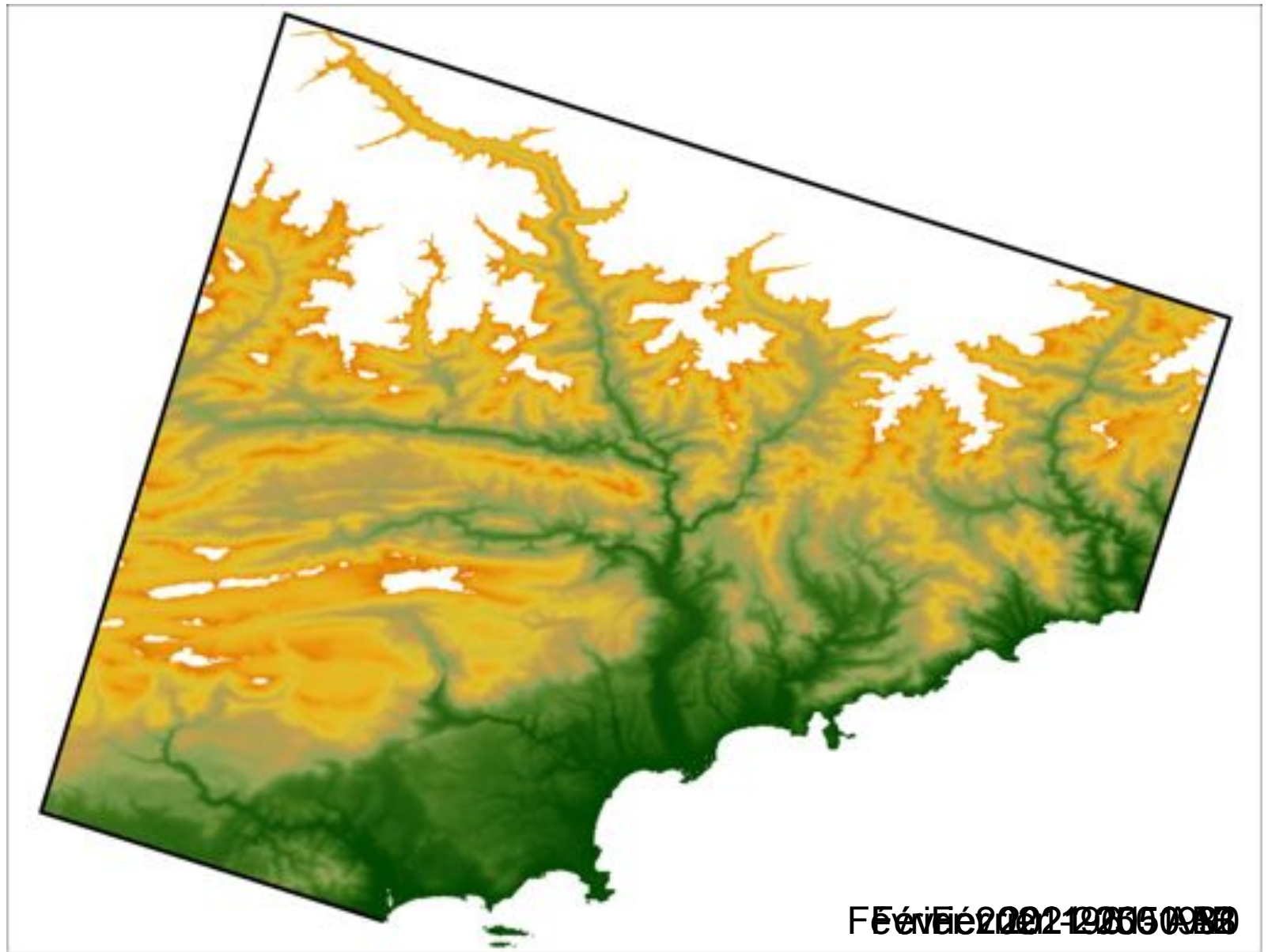


Température moyenne mensuelle
de février 1961-1990

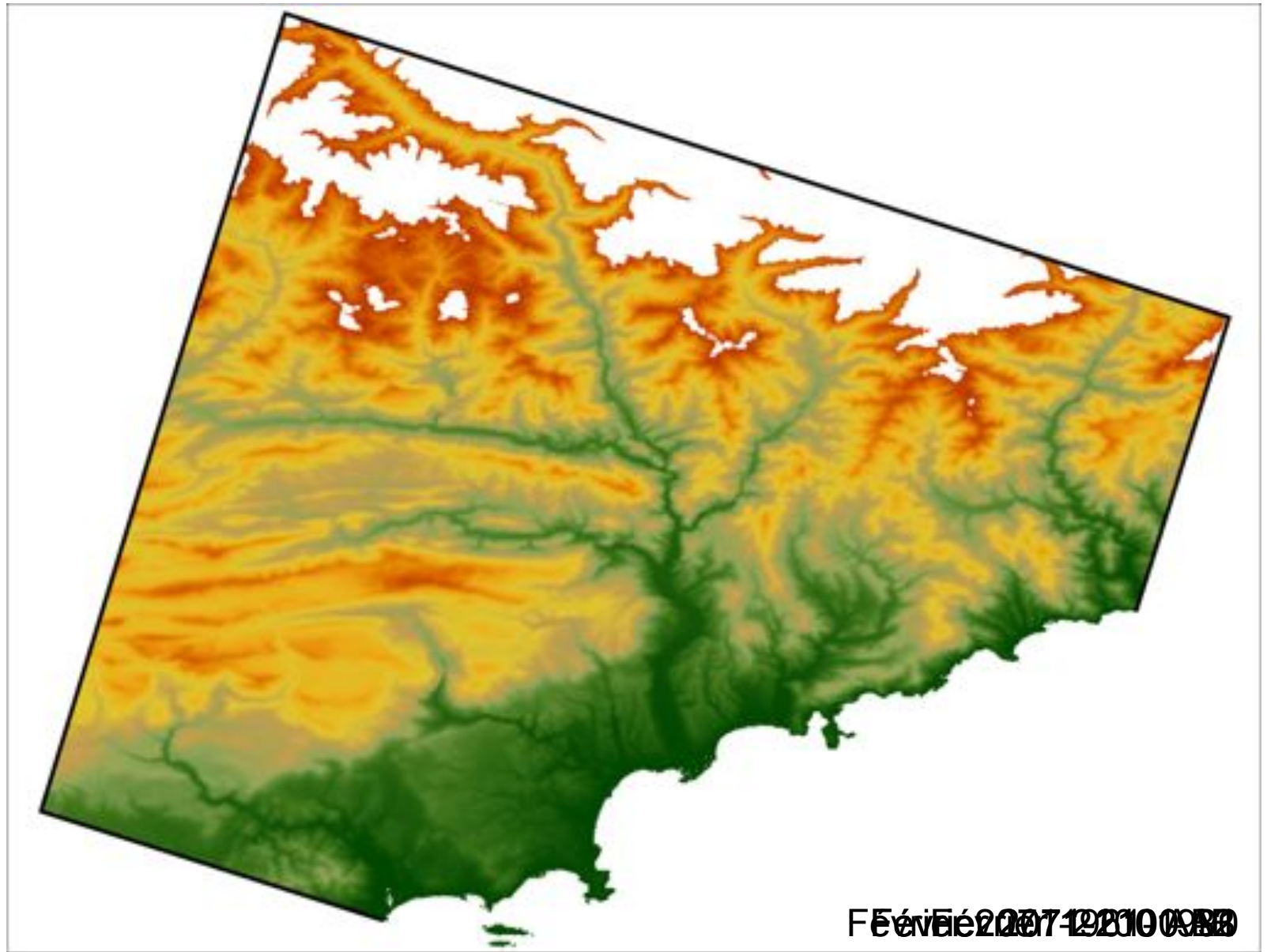


Représentation simplifiée de la limite de l'enneigement
à partir de l'altitude de l'isotherme 0 en février 1961-1990

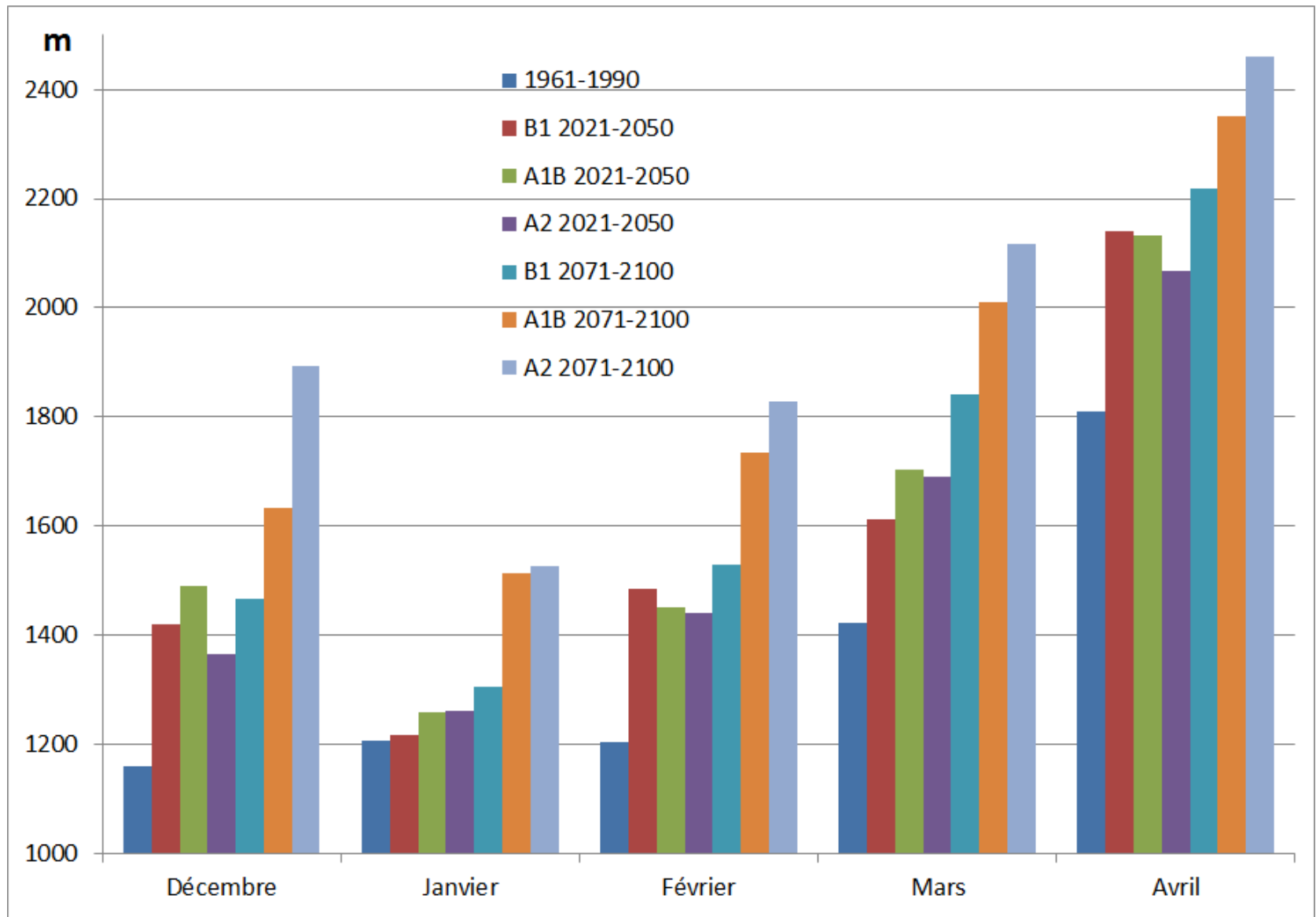
Evolution du potentiel d'enneigement dans les Alpes-Maritimes



Evolution du potentiel d'enneigement dans les Alpes-Maritimes



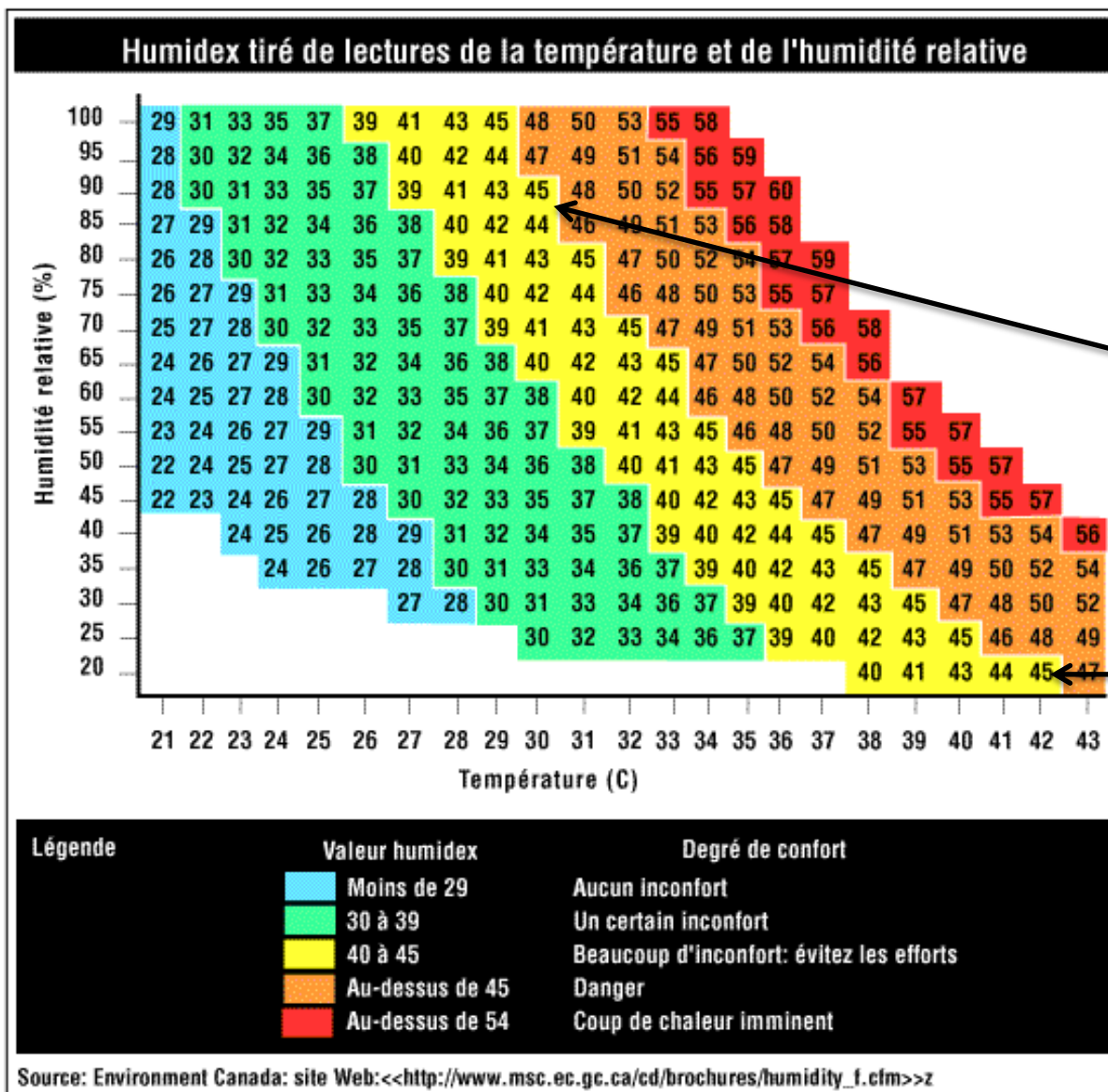
Evolution du potentiel d'enneigement dans les Alpes-Maritimes



Evolution du confort thermique estival dans les communes littorales des Alpes-Maritimes

- ❑ L'appréciation du niveau de confort par la simple mesure des températures minimales ou maximales est incomplète.
- ❑ En fonction des saisons d'autres variables climatiques modulent sensiblement notre ressenti des températures :
 - ✓ En hiver : la présence de vent accentue la sensation de froid
 - ✓ En été : plus l'atmosphère est humide et plus la sensation de chaleur est forte
- ❑ Des indices de confort thermique permettent de mieux apprécier le ressenti de la température comme le windchill et l'humidex. Ce dernier est pris en compte pour mieux comprendre les impacts sanitaires des vagues de chaleur (de jour comme de nuit pendant la récupération des organismes).
- ❑ L'humidex se calcule à l'aide de la température de l'air et d'une information sur la quantité de vapeur d'eau atmosphérique (pression partielle de vapeur d'eau, température du point de rosée, humidité relative)
- ❑ Humidex = $T + 5/9 * (e - 10)$
 - ✓ Où $e = 6,112 * 10 ^ { (7,5 * T / (237,7 + T)) * H / 100}$
 - ✓ Où H est l'humidité relative de l'air en %

Evolution du confort thermique estival dans les communes littorales des Alpes-Maritimes

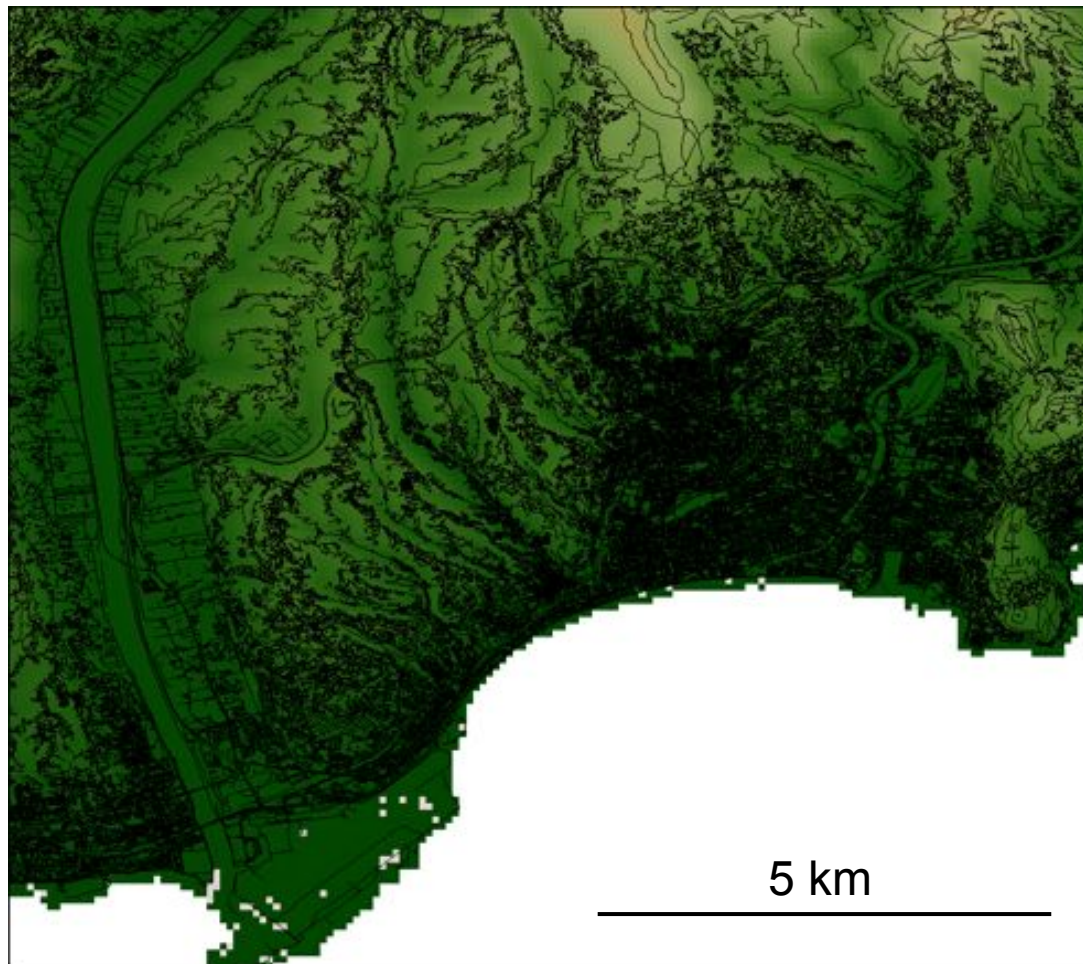


30°C et 90%
d'humidité
= humidex 45

45°C et 8%
d'humidité
= humidex 45

Evolution du confort thermique estival dans les communes littorales des Alpes-Maritimes

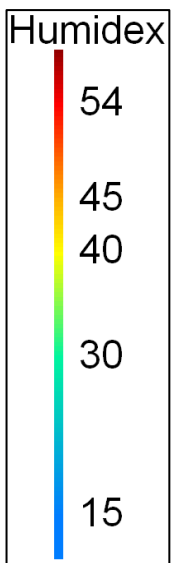
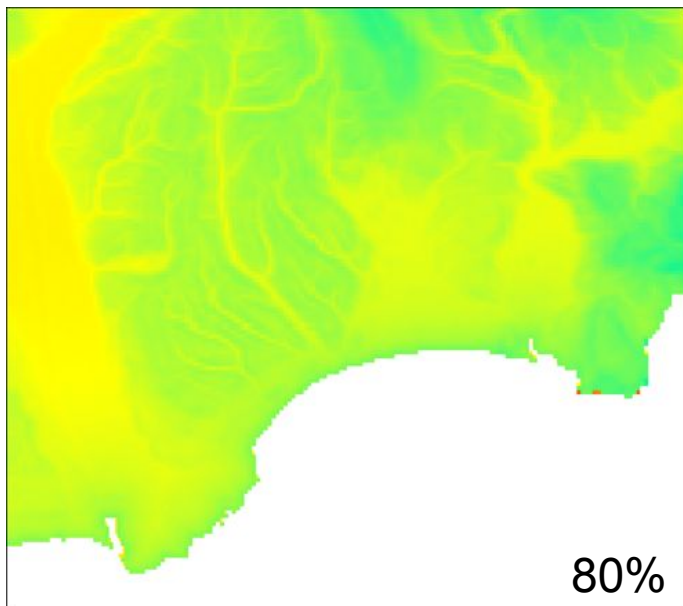
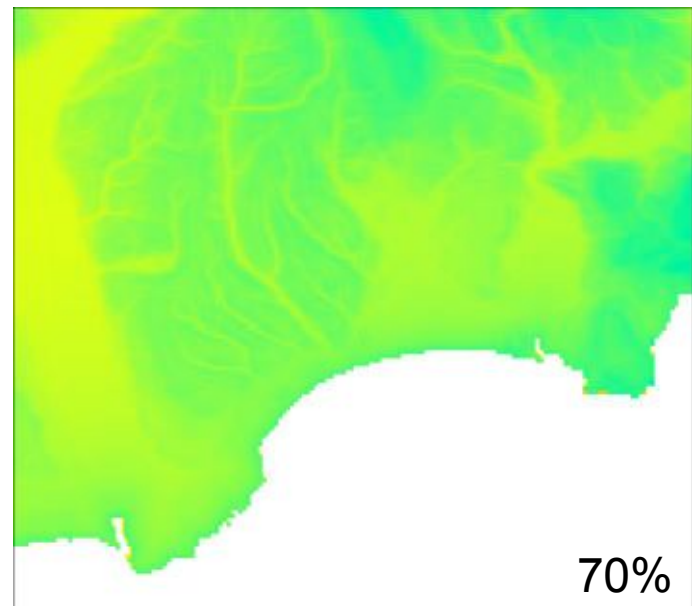
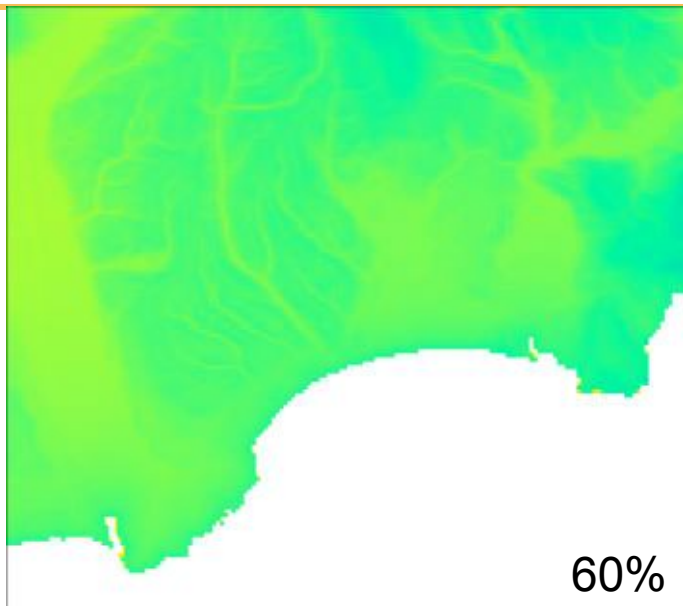
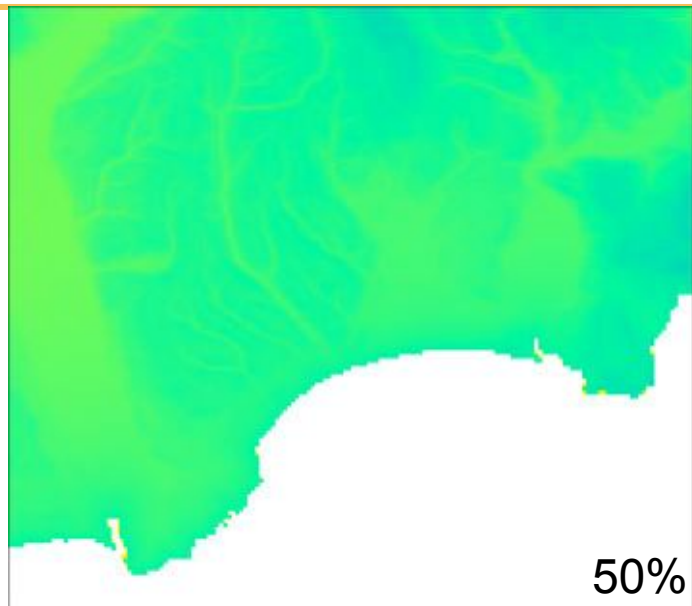
- A l'aide des cartes de températures minimales et maximales du mois de juillet obtenues par downscaling statistique plusieurs hypothèses relatives à l'humidité permettent de produire des cartes de l'humidex à fine échelle spatiale (variation entre 50% et 80%) : application à la commune de Nice



Plus d'un demi-million d'habitants réside dans cet espace des Alpes-Maritimes

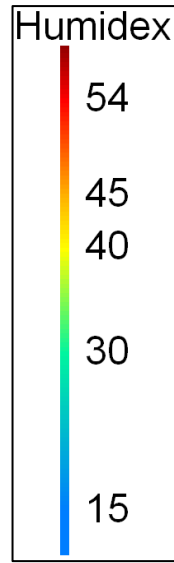
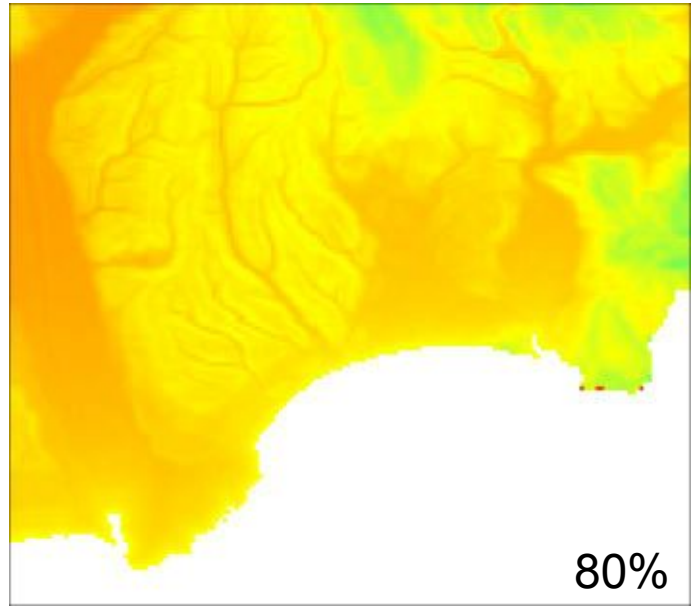
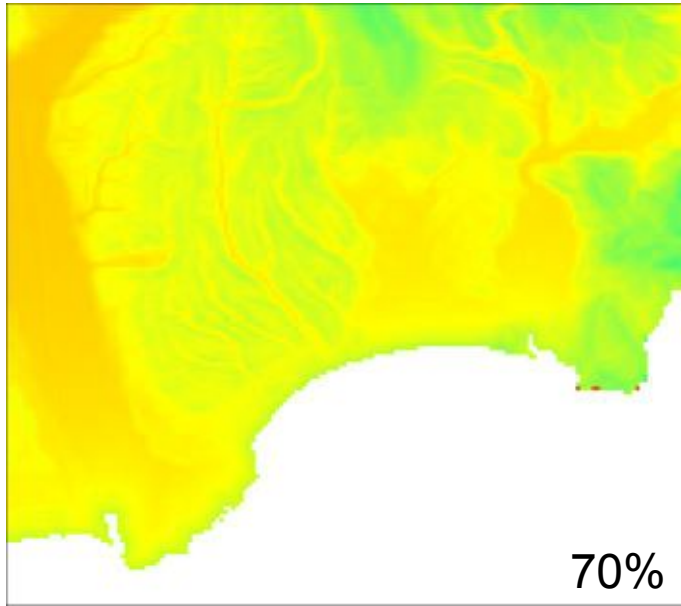
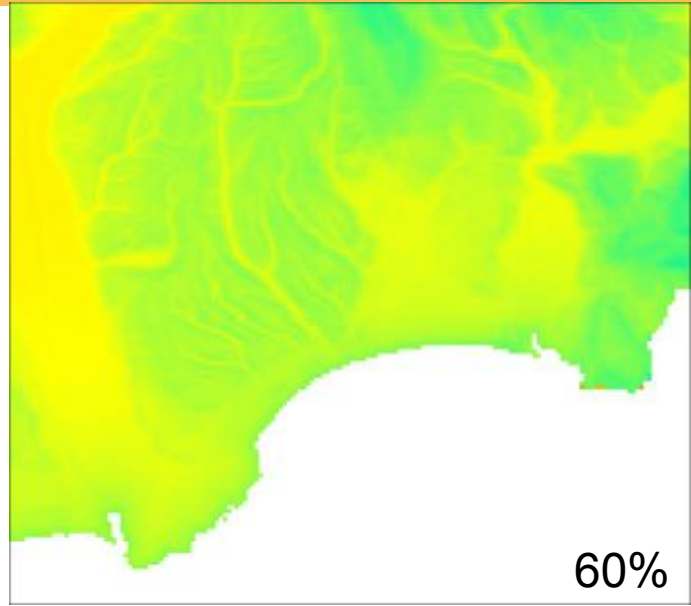
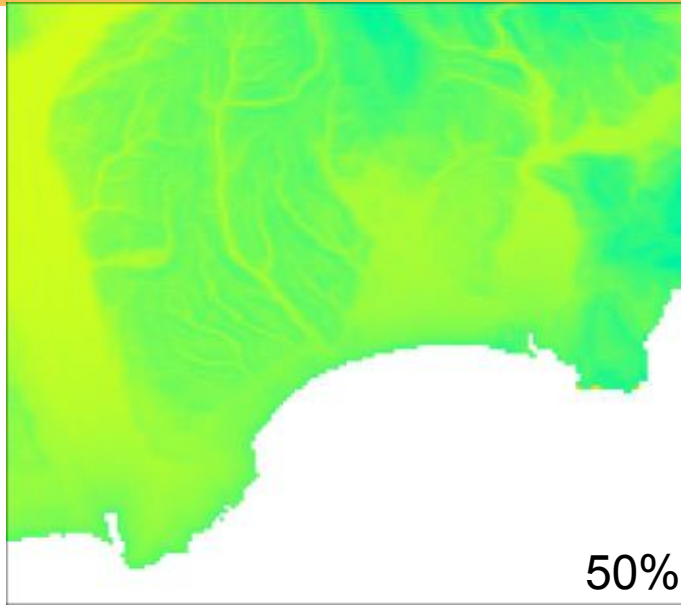
Evolution du confort thermique estival dans les communes littorales des Alpes-Maritimes

Tx
1961
1990



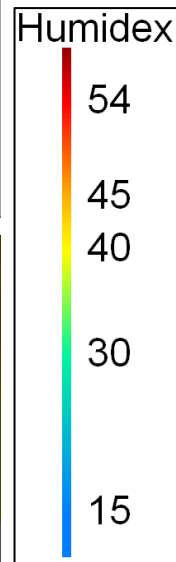
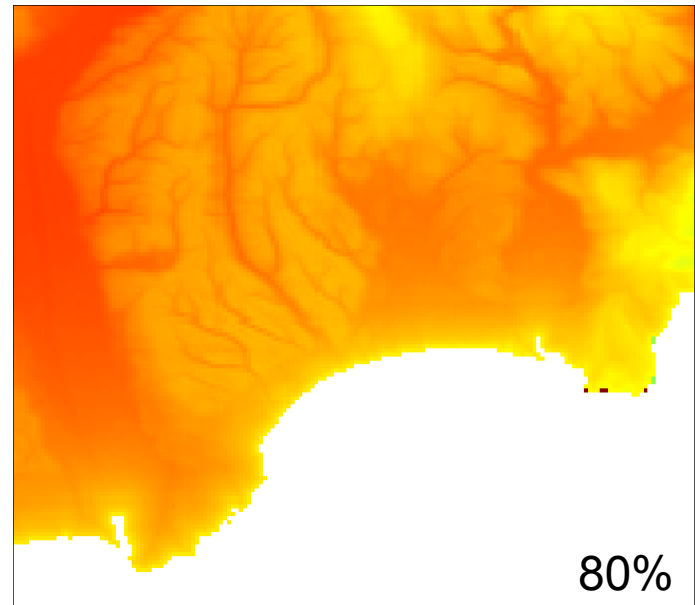
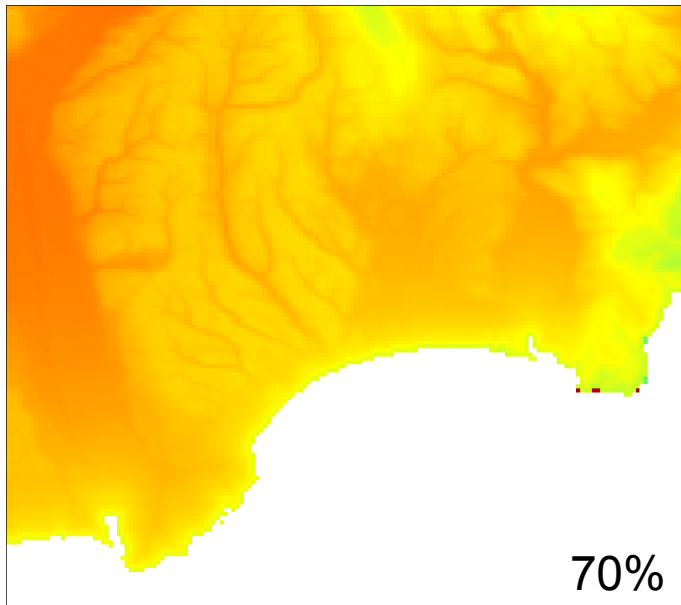
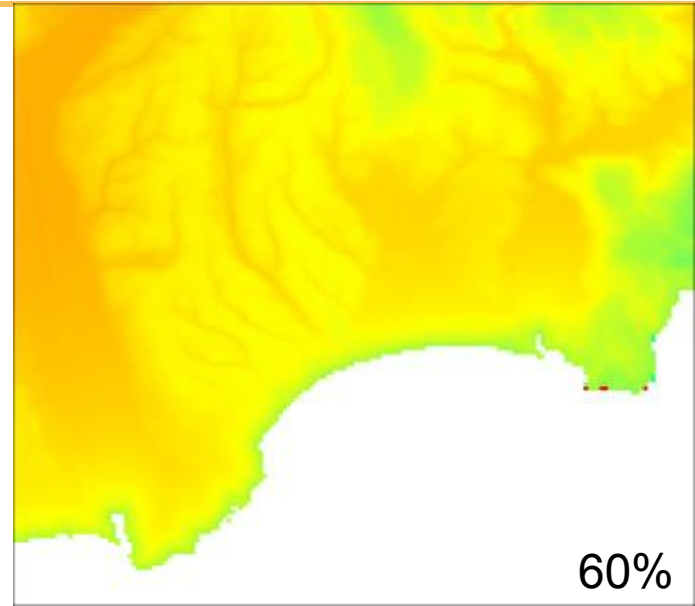
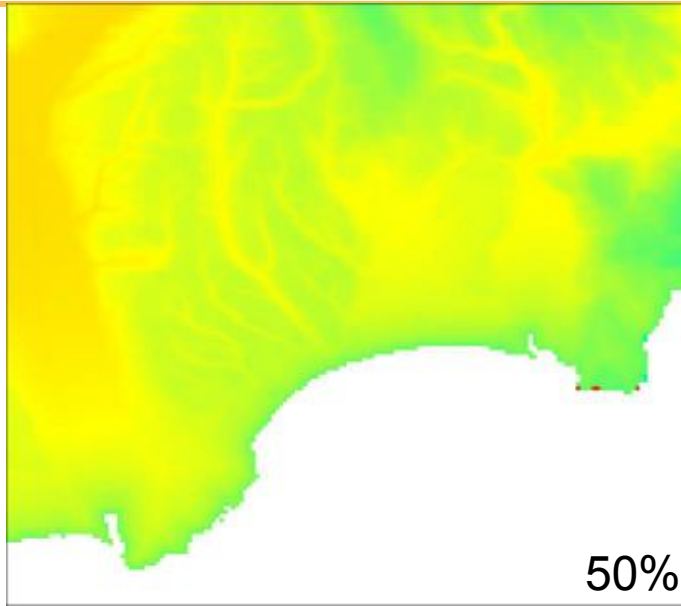
Evolution du confort thermique estival dans les communes littorales des Alpes-Maritimes

Tx
2021
2050
A1B



Evolution du confort thermique estival dans les communes littorales des Alpes-Maritimes

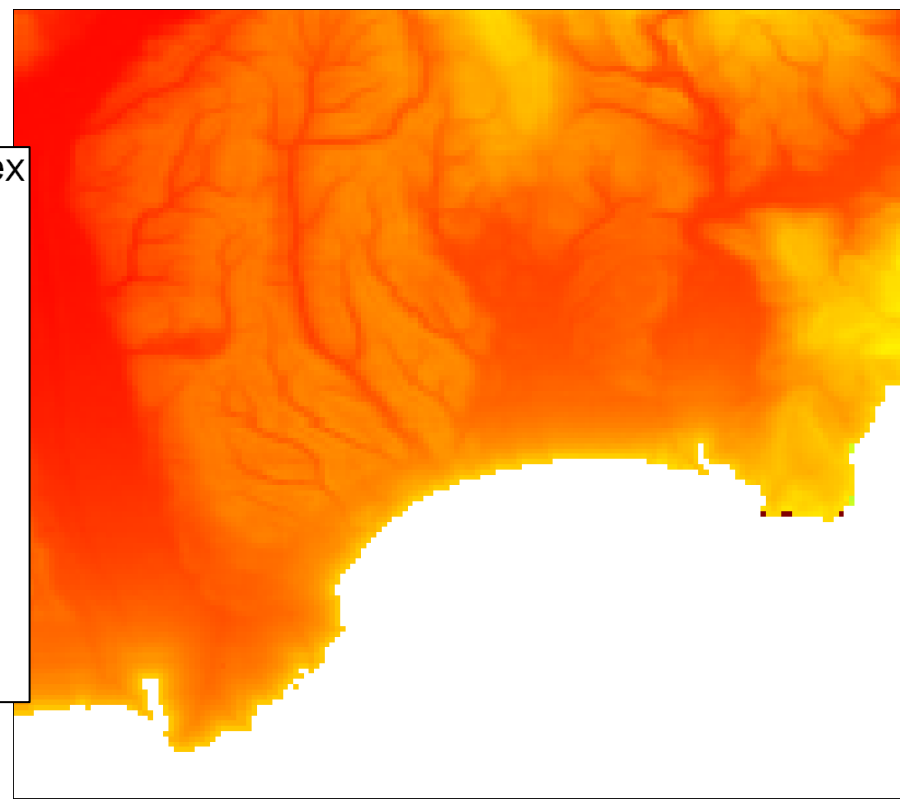
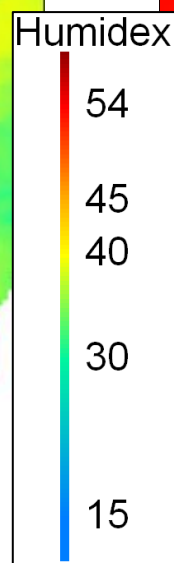
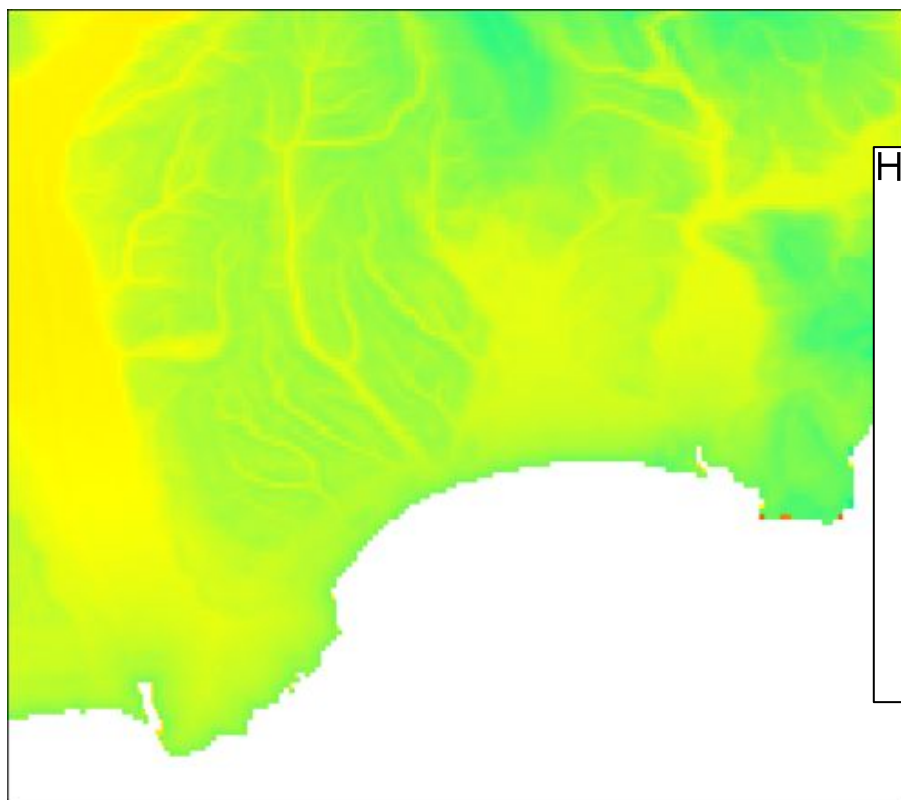
Tx
2071
2100
A1B



Evolution du confort thermique estival dans les communes littorales des Alpes-Maritimes

Plage de 32 à 41
= certain inconfort
à beaucoup d'inconfort

Plage de 43 à 54
= beaucoup d'inconfort à danger
voire coup de chaleur imminent



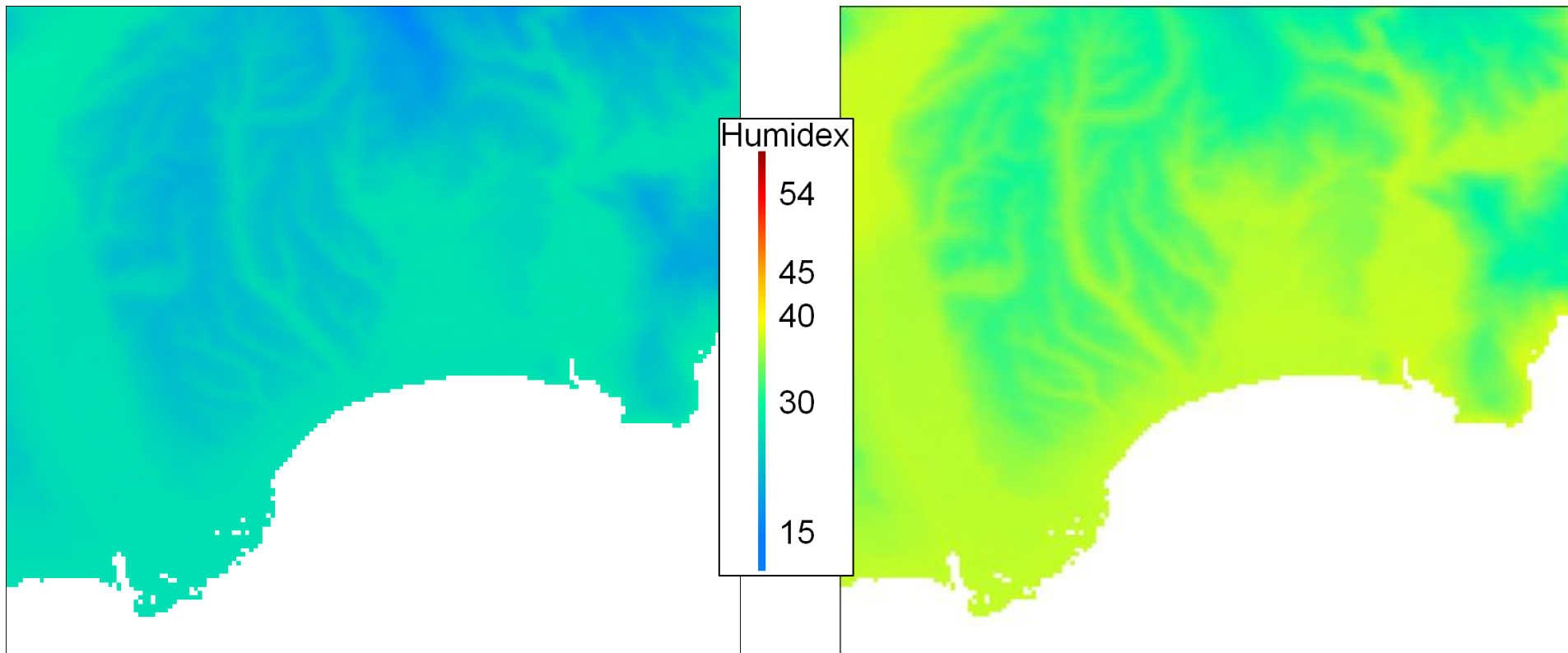
Humidex 1961-1990 pour les températures maximales de juillet avec 80% d'humidité relative

Humidex 2071-2100 pour les températures maximales de juillet avec 80% d'humidité relative dans le scénario A2

Evolution du confort thermique estival dans les communes littorales des Alpes-Maritimes

Plage de 15 à 25
= aucun inconfort

Plage de 26 à 35
= aucun inconfort
à certain inconfort



Humidex 1961-1990 pour les températures minimales de juillet avec 80% d'humidité relative

Humidex 2071-2100 pour les températures minimales de juillet avec 80% d'humidité relative dans le scénario A2



Merci de votre attention



UMR 7300 ESPACE
équipe de Nice



Gestion et Valorisation de l'Environnement

