

Les écosystèmes forestiers face au changement climatique : Situation et perspectives d'adaptation au Maroc.

*Omar MHIRIT
Mohamed ET-TOBI*

Décembre 2010

Le changement climatique et ses conséquences sur les écosystèmes forestiers

Articulation du thème I

- 1. Les écosystèmes forestiers: structure, particularités, processus d'évolution**
- 2. Des indicateurs et incidences du changement climatique sur les écosystèmes forestiers ; Exemples**
- 3. Caractérisation et simulations futures: Application au cèdre de l'Atlas**

Types d'écosystèmes dominants

I. Domaine méditerranéen

- I.1 Forêts de chênes sclérophylles : *chêne vert, chêne liège, chêne kermès ;*
- I.2 Forêts décidues de chênes méditerranéens : *chênes zeen, C. tauzin ; C. Canaries,*
- I.3 Forêts méditerranéennes de conifères :
 - I.3.1 Forêts de pins : *Pins d'Alep: P. maritime, P. noir, P. pignon,*
 - I.3.2 Forêts de thuya et de cyprès : *thuya de berbérie, cyprès de l'Atlas*
 - I.3.3 Forêts de genévriers : *genévrier de Phénicie, G. oxycèdre, G. commun, G. thurifère ;*
 - I.3.4 Forêts de cèdre : *cèdre de l'Atlas*
 - I.3.5 Forêts de sapin : *sapin du Maroc*
- I.4 Formation arborée de l'Oléastre -lentisque : *olivier sauvage, pistachier de l'Atlas, caroubier, filaires ;*
- I.5 Formations arbustives et buissonnantes : *Formation de haute montagne à arbustes, xérophytes épineux, maquis et garrigues méditerranéens.*

Types d'écosystèmes dominants

II. DOMAINE SUB MEDITERRANEEN

- II.1. Formations arbustives d'arganier : *Arganier*
- II.2. Formations arbustives d'acacia : *Acacia gommier, jujubier, pistachier de l'Atlas*
- II.3. Formations steppiques : *alfa, armoise...*

III. DOMAINE SAHARIEN :

Acacias sahariens, Maerua crassifolia, Balanites egyptiaca, Rhus tripartitum ; Tamarix

Maroc forestier

- Cèdre
- Chêne-liège
- Arganier
- Chêne vert
- Thuya
- Pins
- Génévriers
- Alfa
- Acacias sahariens
- Reboisements
- Autres essences

0 40 80 120 160 200 km

Domaine méditerranéen

Domaine saharien

Domaine subméditerranéen

Grande diversité d'écosystèmes: 30 zones biogéographiques et 39 écosystèmes terrestres dont 30 écosystèmes forestiers

Structures et particularités

Indicateurs et incidences

Caractérisation et simulation

Fonctions de la forêt : espace écologique, richesse économique et bien social:

REPOS_ DETENTE
ESTHÉTIQUE_ POÉSIE

O²

INDUSTRIE ET CHAUFFAGE

RÉSIDENCES SECONDAIRES CAMPING

PROMENEURS

à pieds à cheval

PRODUCTIONS ANIMALES ET CHASSE

Réservoir de carbone

PRODUCTIONS VÉGÉTALES

Mousses

Petits fruits

Fv Ri Vm

Champignons

Lichens corticoles

Parfum

PRODUITS DU SOL

Truffe Litière Humus

Lutte contre l'érosion

Cycle de l'eau régularisé

EFFETS GLOBAUX

Accroissement de la pluviosité

m/m

10
5
0

forêt

Brise-vent

Récolte de fleurs saisonnières

Boutures

Jeunes plants

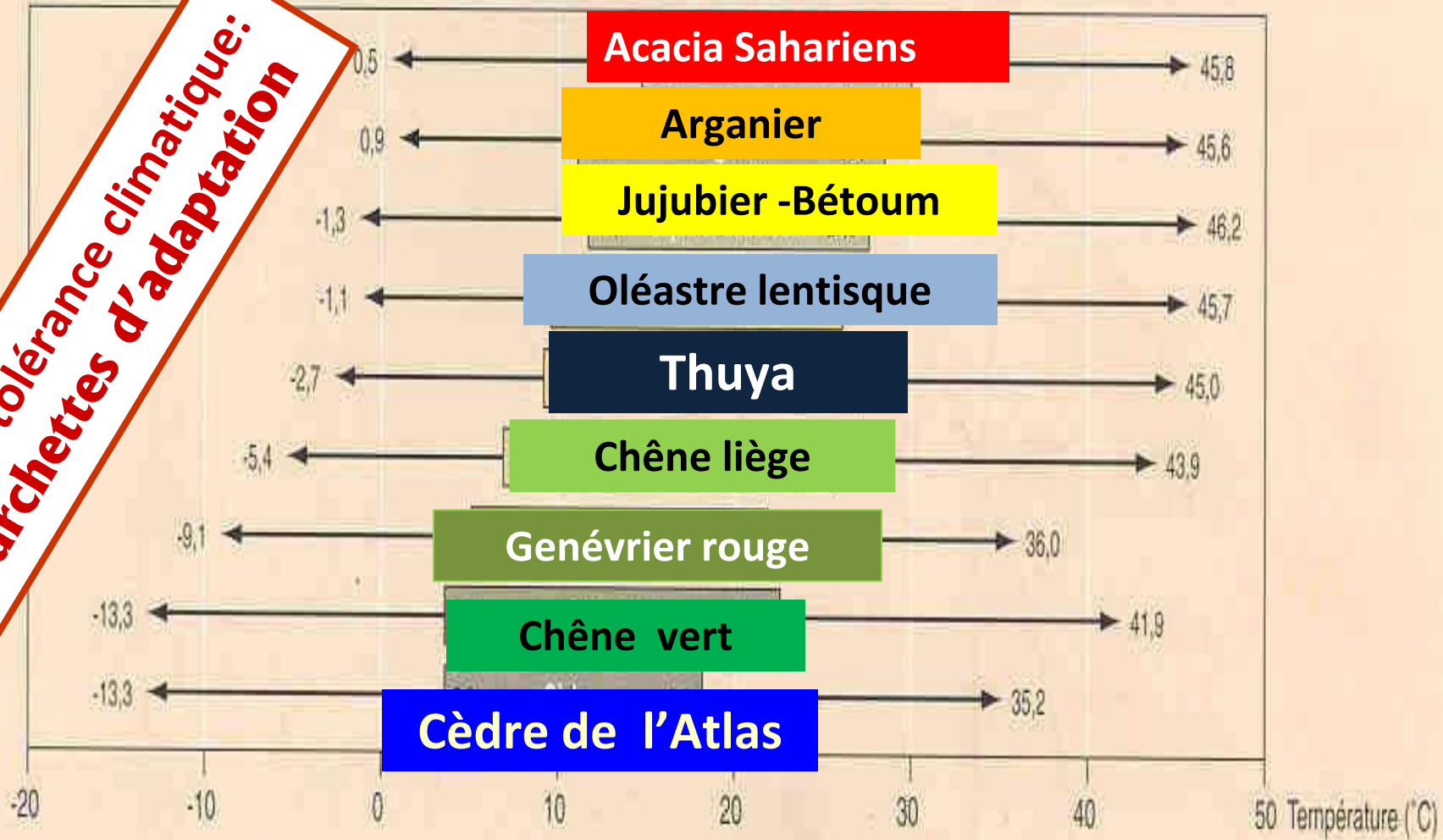
Gènes

Graines

Tempérament des espèces en fonction de la température

Position des principales espèces climax du Maroc

**Seuil de tolérance climatique:
fourchettes d'adaptation**



Structures et particularités

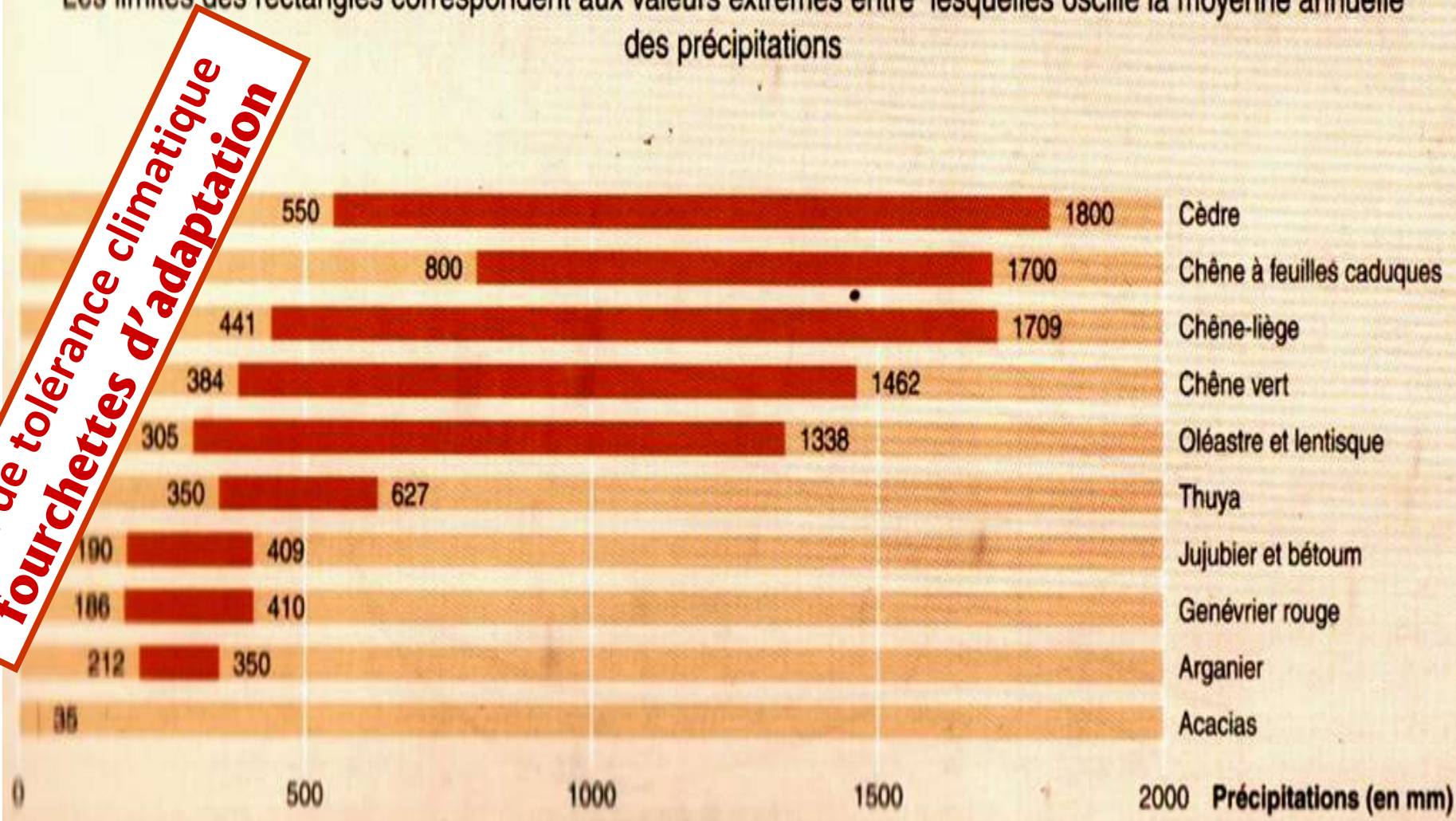
Indicateurs et incidences

Caractérisation et simulation

Tempérament des espèces en fonction des précipitations

Position des principales espèces climax du Maroc en fonction des précipitations

Les limites des rectangles correspondent aux valeurs extrêmes entre lesquelles oscille la moyenne annuelle des précipitations

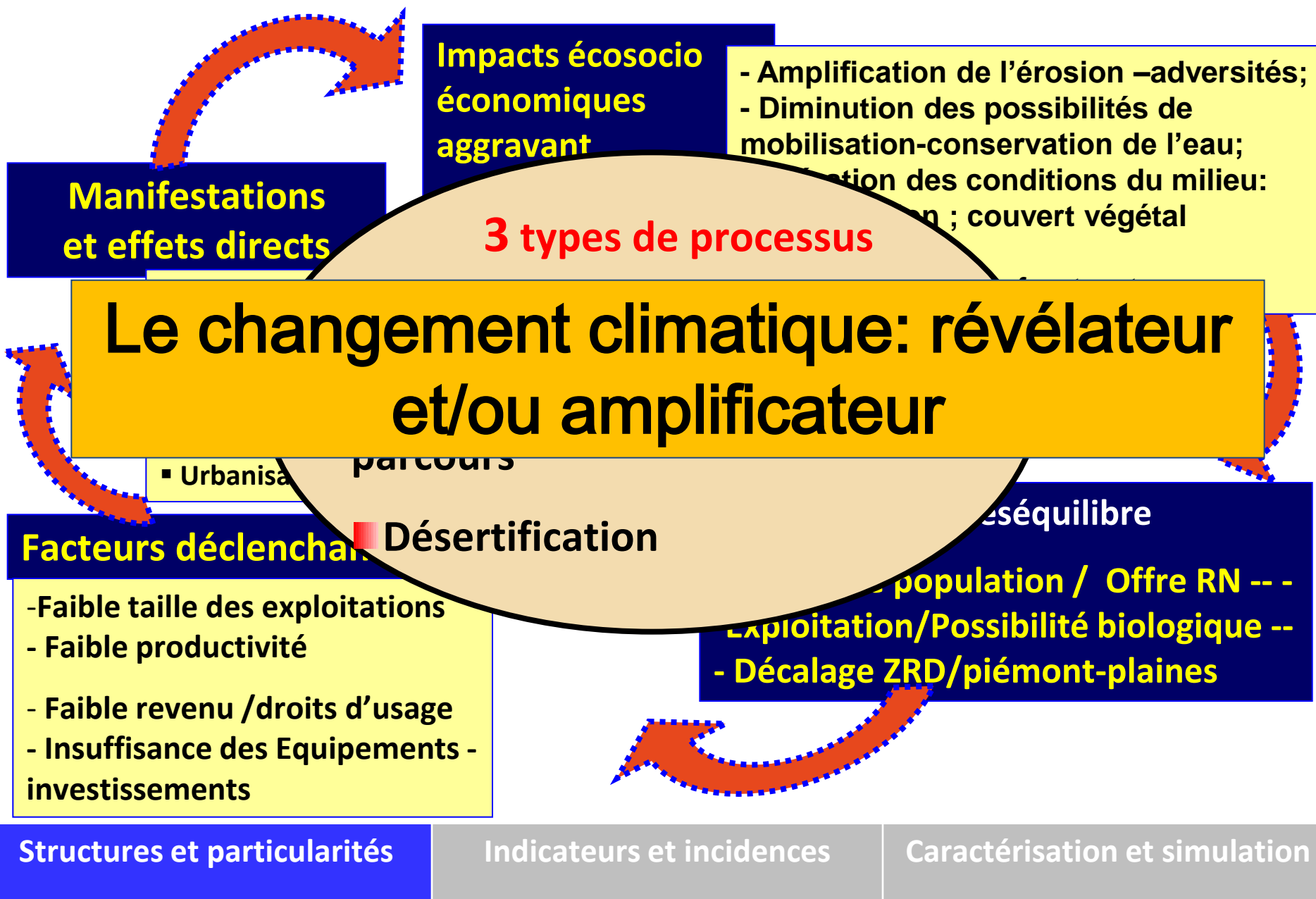


Structures et particularités

Indicateurs et incidences

Caractérisation et simulation

Processus de vulnérabilité des écosystèmes forestiers



Les indicateurs du changement climatique

- **Augmentation de la température de surface sur la Terre : $(0,8 \pm ,2^{\circ}\text{C})$ depuis 1870**
- **Augmentation de la température des océans depuis 1980**
- **Réduction de la surface des glaces océaniques arctiques. de 8,5 M de km² stable (1950-1975), à 5,5 M de km² en 2010.**
- **Recul quasi généralisé des glaciers continentaux depuis 3 à 4 décennies, avec une nette augmentation au cours des 20 dernières années.**

Les indicateurs du changement climatique

- **Bilan total de masse des calottes polaires de l'Antarctique et du Groenland négatif depuis une dizaine d'années : réchauffement**

En résumé, depuis la seconde moitié du XIXe siècle, plusieurs indicateurs indépendants montrent, sans ambiguïté, un réchauffement climatique, modulé dans le temps, avec une augmentation de 1975 à 2003.

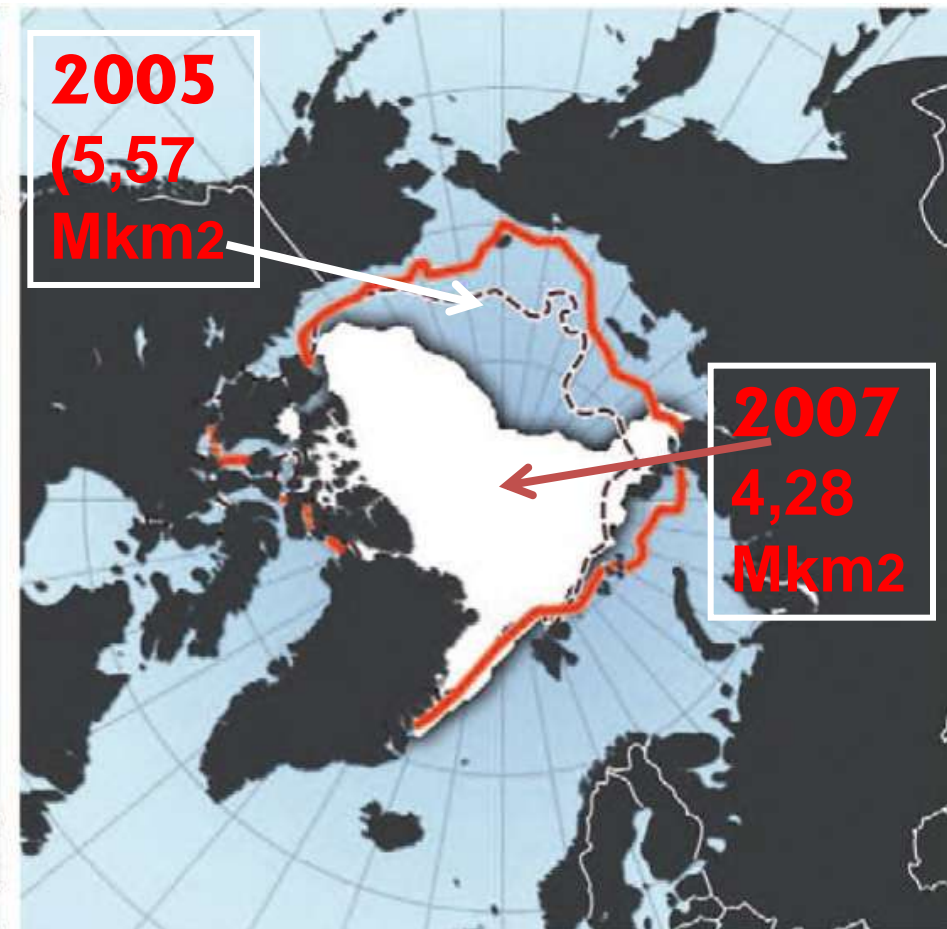
(Académie des sciences ,Paris ,Octobre 2010)

**populations animales terrestres ou marines ;
évolution des dates d'activités agricoles
saisonnères, etc.**

Évolution de surface moyenne de la glace de mer (glace d'été) de l'Arctique

www.greenpeace.fr

----- Étendue minimum de la calotte glacière en 2005
—— Étendue minimum médiane de la calotte glacière (1979-2000)



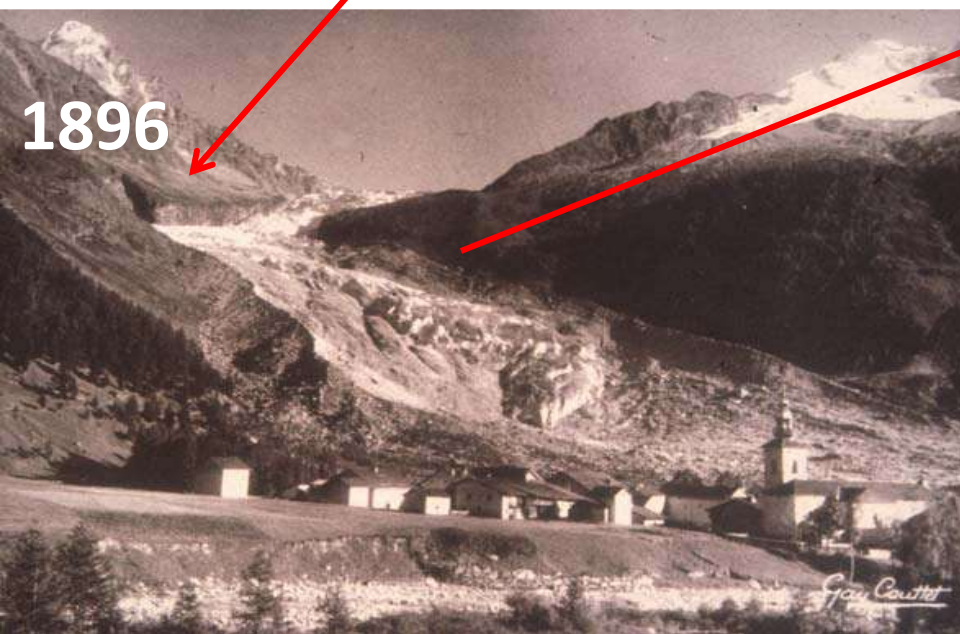
Source : UNEP/GRID Arendal Maps and Graphics Library

Structures et particularités

Indicateurs et incidences

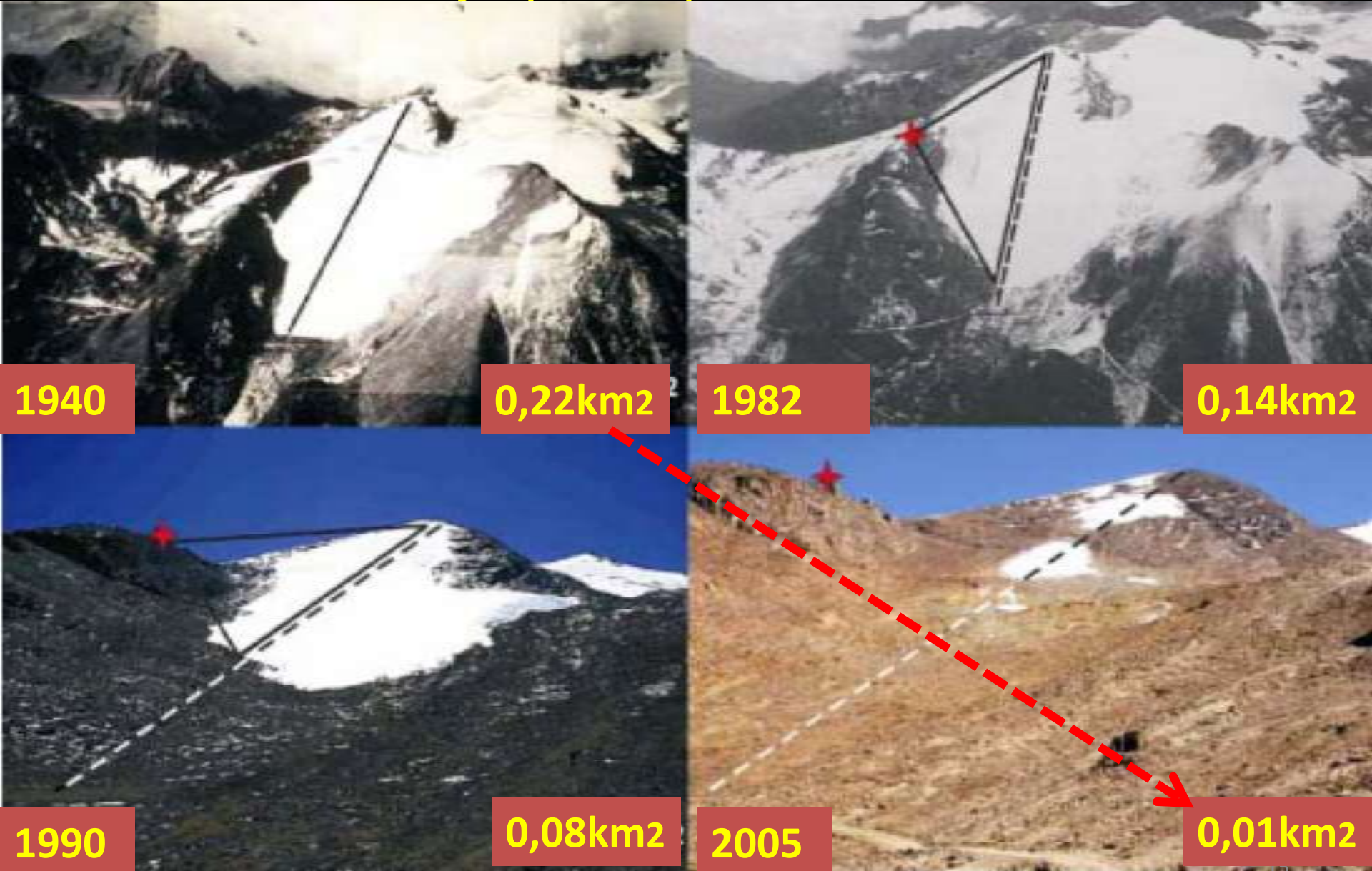
Caractérisation et simulation

Evolution des glaciers dans les Alpes













**Le glacier d'Argentière,
(Chamonix),
Recul: 1,4 km depuis
1864,**

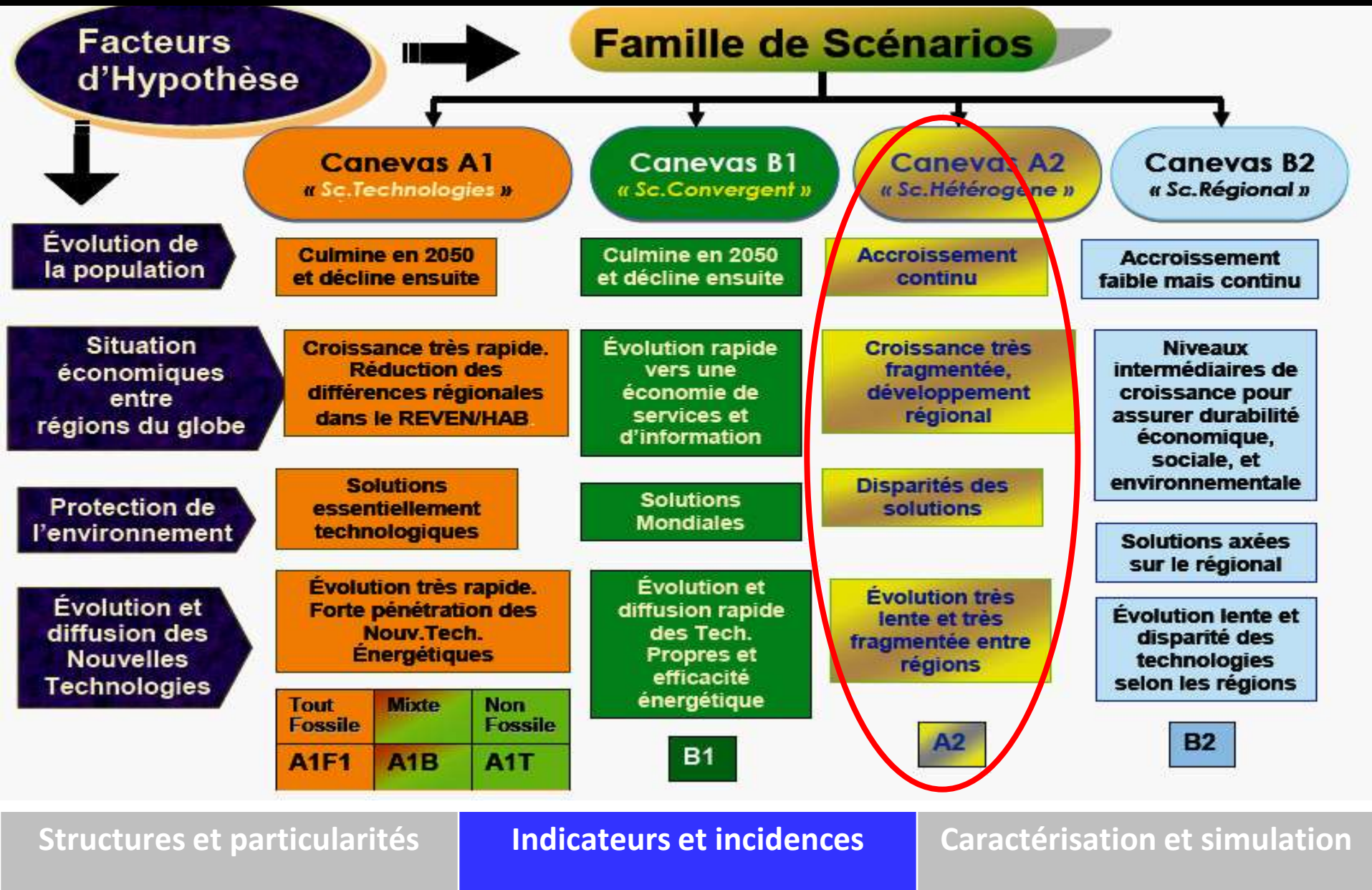
Exemple de rétrécissement de la superficie du glacier Chacaltaya (Bolivie) entre 1940 et 2005



Le changement climatique : Faits observés et hypothèses

Facteur	Faits observés	Hypothèses
Température	<ul style="list-style-type: none"> • Réchauffement : 0,6° C depuis 1860 • Période 1990- 2004 : la plus chaude • Deux périodes de réchauffement : (1910 à 1945) :  0,14° C, (1976-1990) :  0,17° C, • les temp. minimales  2 fois plus vite que les maximales. 	<p>Réchauffement du 20^{ième} S : plus important /derniers mille ans</p> <p> observé sur la TMG depuis le milieu du XXe S dû à  des GES anthropiques.</p>
Précipitations	<ul style="list-style-type: none"> • Tendance à la hausse modérée (2%) mais variabilité annuelle à l'échelle globale ; • Région boréales :  de 7à 12% ; • Région intertropicale :  de 3% par décennie ; • Europe :  de 10% à 40% • Région méditerranéenne :  20%. 	<p>Probabilité d'une  de la fréquence des précipitations extrêmes dans l'H. Nord.</p> <p>Fréquence persistance et intensité des épisodes chauds depuis le milieu des années 1970. « EI NINIO»</p>

Projections du changement climatique futur: Scénarios d'émission GES

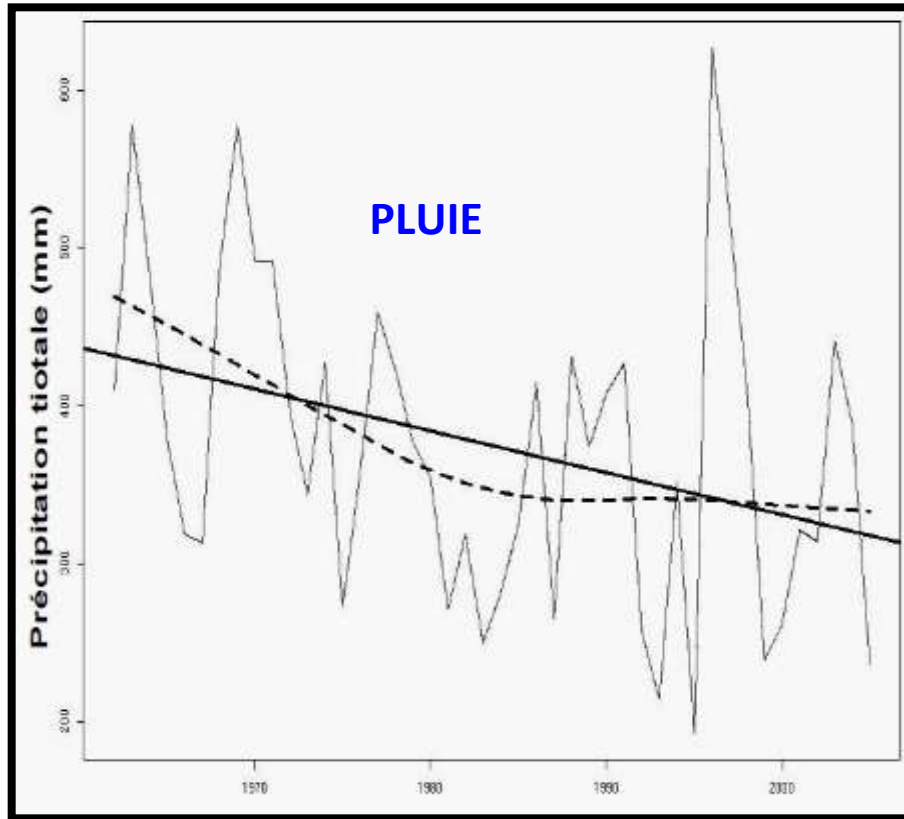


Projections des valeurs moyennes du réchauffement à la surface du globe pour la fin siècle (2090-2099) *par scénario*

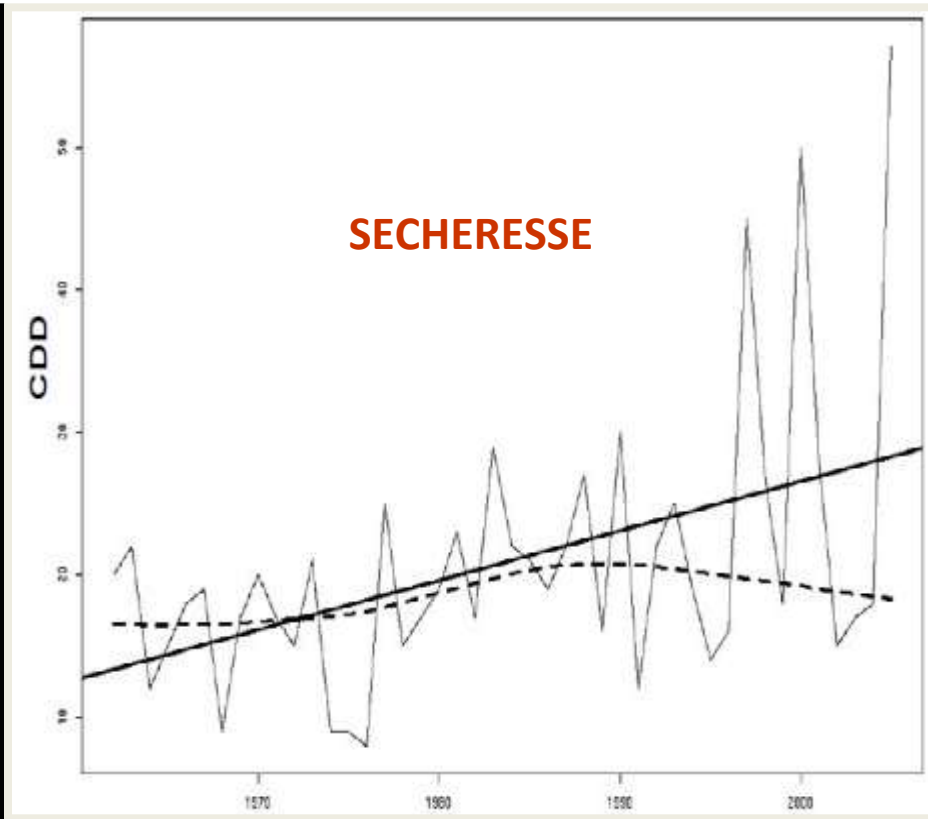
Canevas	Scénario	Concentration CO2 (ppm)	Valeur probable	Intervalle probable
Convergent	<i>B1</i>	600	1,8	1,1 – 2,9
Technologies énergétiques	<i>A1T Non Fossile</i>	700	2,4	1,4 – 3,8
Regional	<i>B2</i>	800	2,4	1,4 – 3,8
Technologies énergétiques	<i>A1B Mixte/équilibré</i>	850	2,8	1,7 – 4,4
Hétérogène	<i>A2</i>	1 250	3,4	2,0 – 5,4
Technologies énergétiques	<i>A1F1 Tout Fossile</i>	1 550	4,0	2,4 – 6,4
<i>Concentration constante</i>		<i>(niveau 2000)</i>	0,6	0,3 – 0,9

Tendances du changement climatique récent au Maroc

Précipitations et sécheresse (1955-2004)



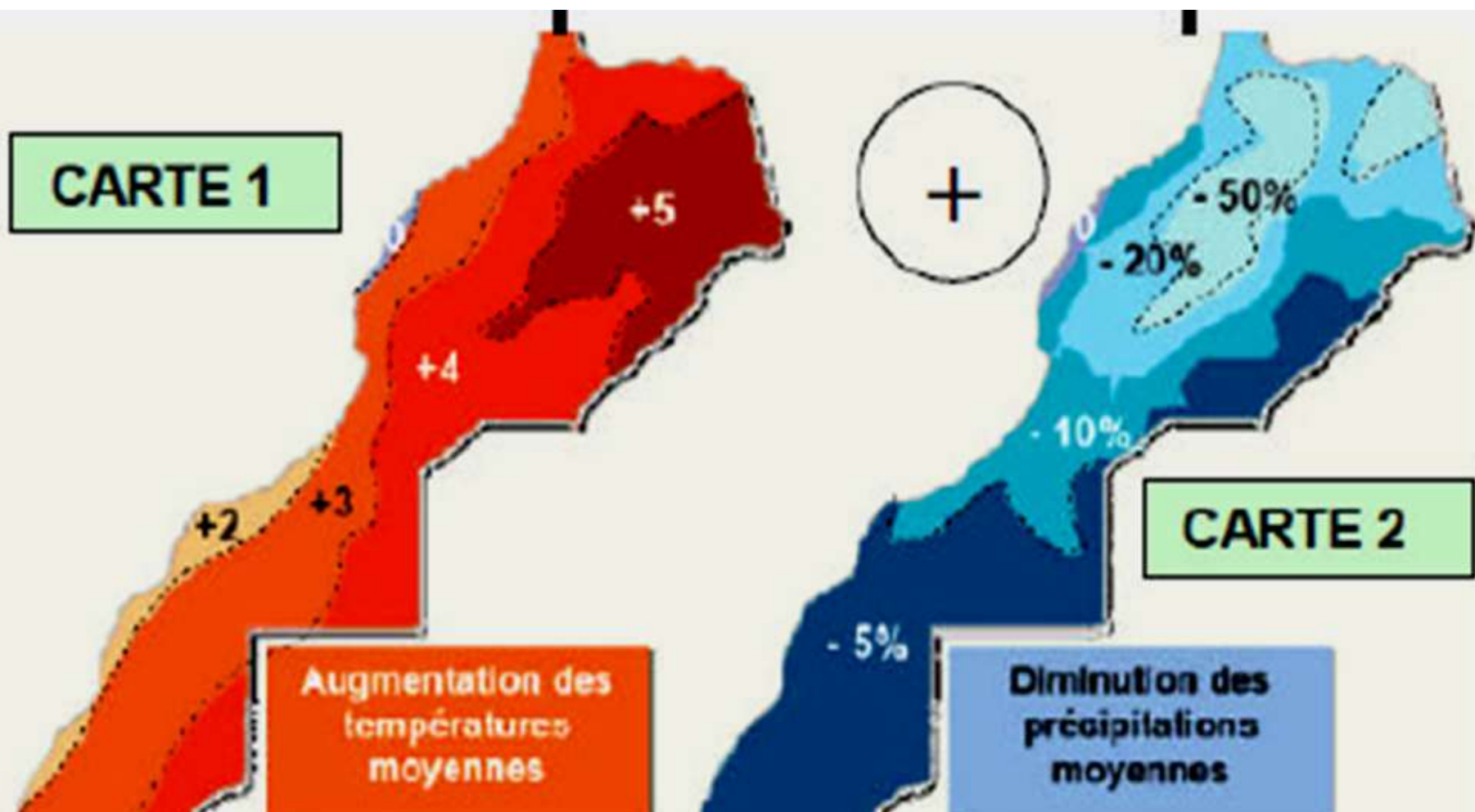
Précipitations moyennes
cumulées sur la saison pluvieuse
(1955- 2004) (Driouech, 2009)



Durée maximale de sécheresse de 1955 à
2004 (Driouech, 2009).
(CDD : Nombre maximale consécutifs de
sécheresse où $P < 1$ mm)

Projections futures du changement climatique au Maroc

Synthèse des projections (modèle Arpège-Climat, Scénario A2),



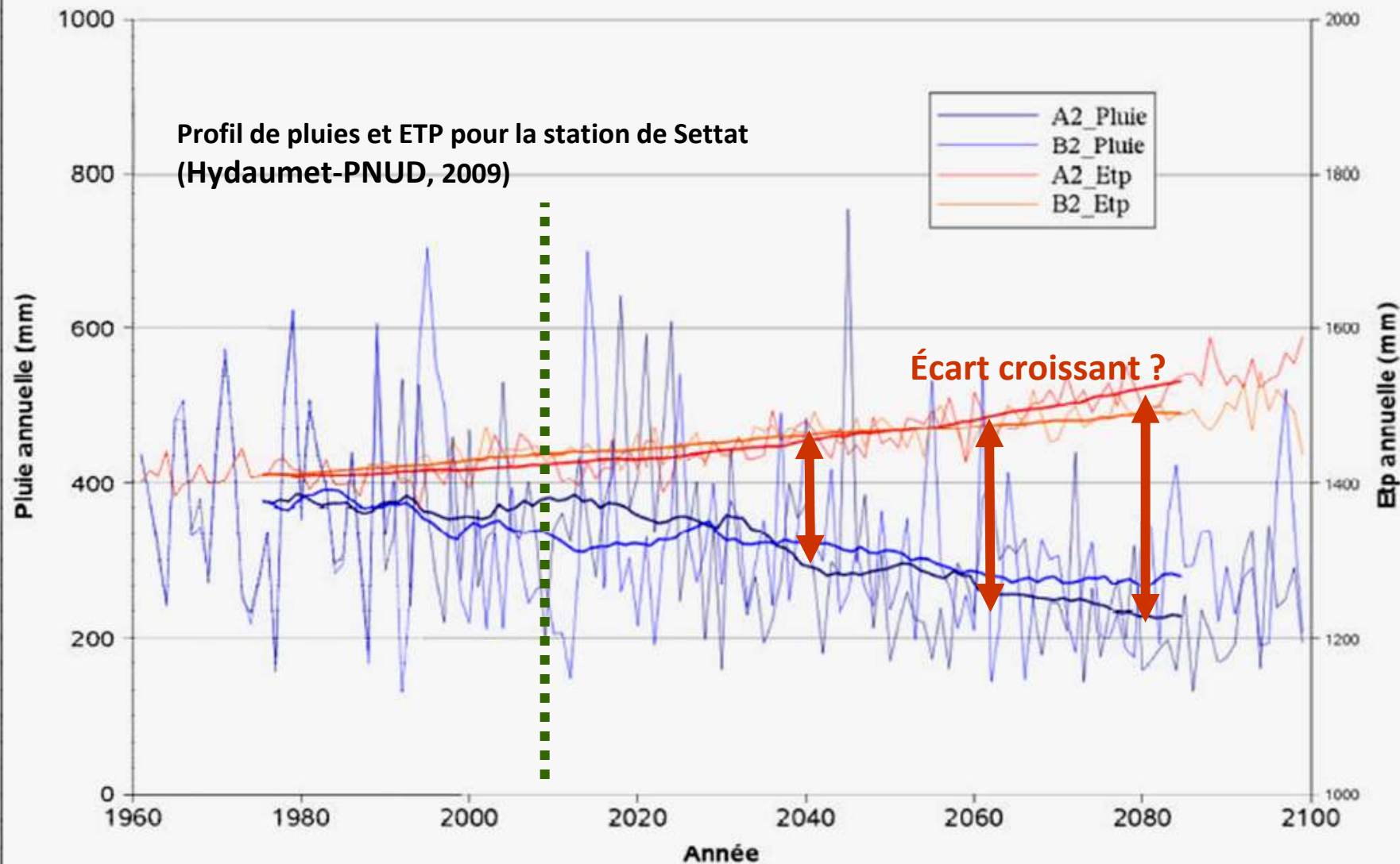
Phénomènes extrêmes

- Augmentation importante du nombre de vagues de chaleur estivale.
- Allongement des périodes intra-annuelles de sécheresse, et donc une augmentation de sa persistance temporelle, plus marquée au printemps que durant le reste de la saison pluvieuse.

Projections futures du changement climatique au Maroc

Cas d'une zone agricole semi aride

Settat



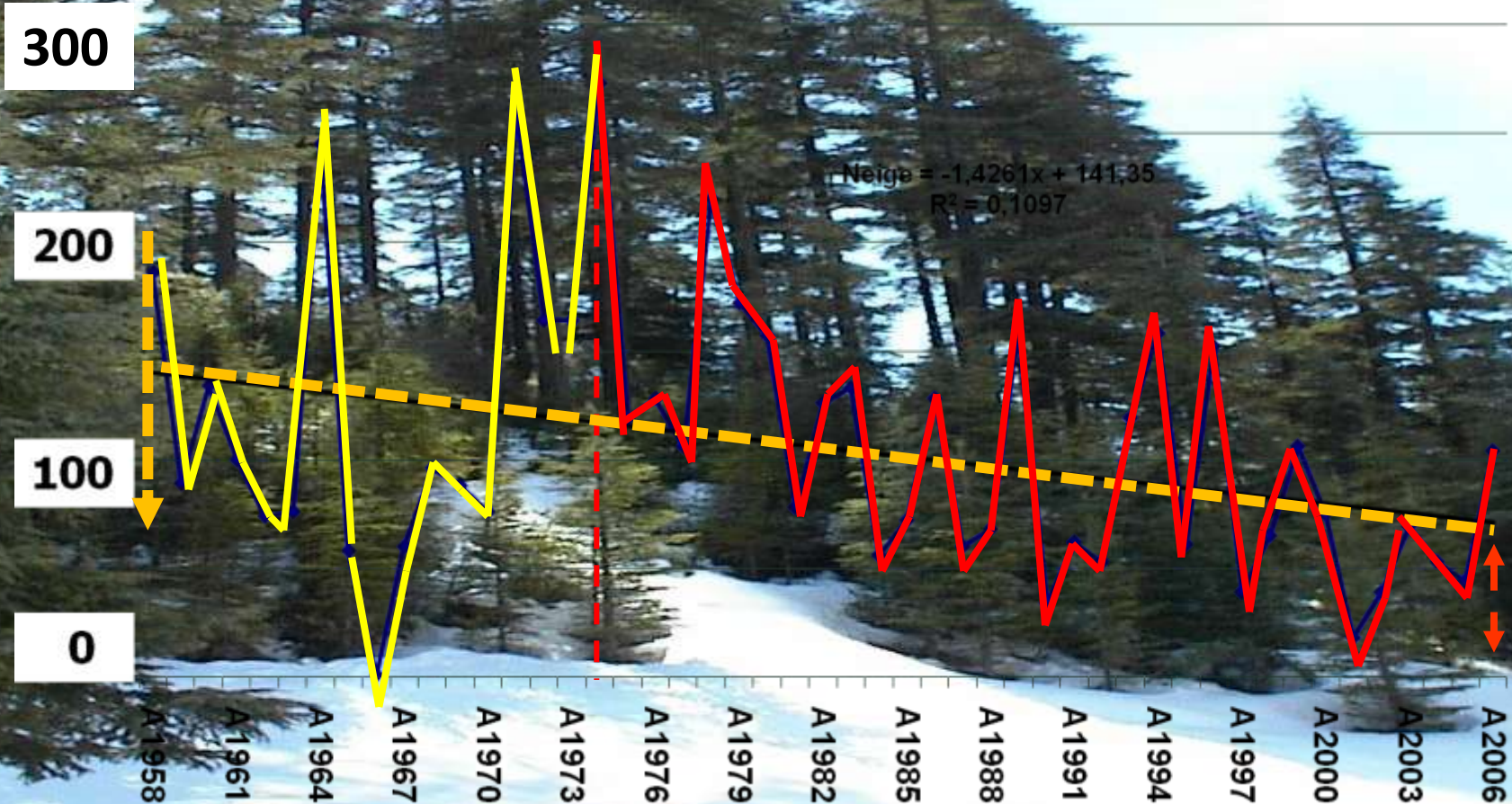
Structures et particularités

Indicateurs et incidences

Caractérisation et simulation

Tendances de la neige : Cas du cèdre au Moyen Atlas

Evolution des précipitations neigeuses en (cm) au niveau d'Ifrane



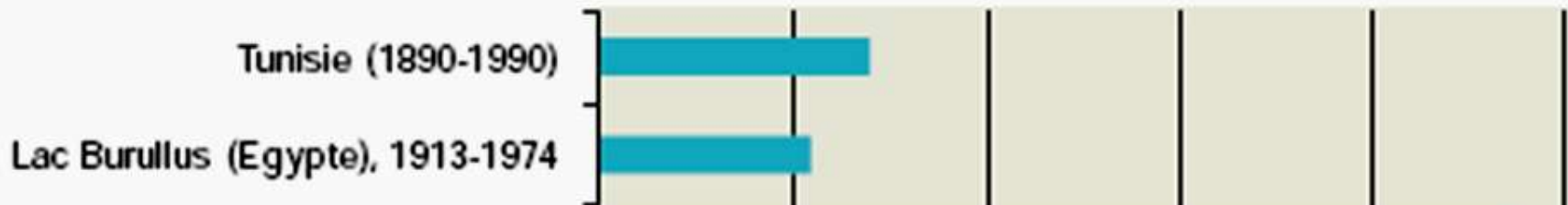
Évolution des précipitations neigeuses en cm à Ifrane (1958-2006)

Structures et particularités

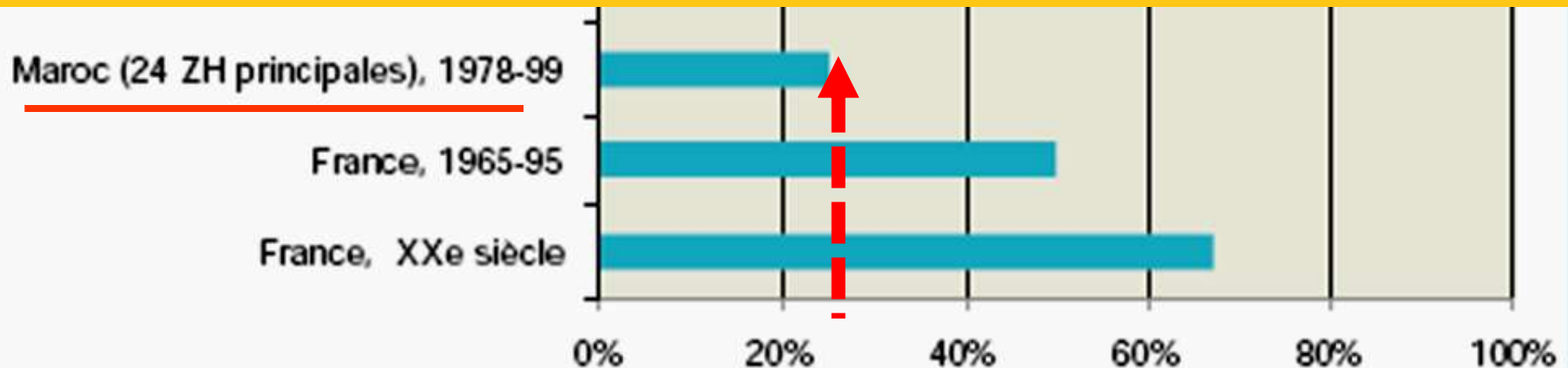
Indicateurs et incidences

Caractérisation et simulation

Evolution de zones humides : Région méditerranéenne



Au Maroc 25 % de la surface des 24 zones humides majeures ont été perdues entre 1978 et 1999.



Source : Observatoire des Zones Humides Méditerranéennes - rapports nationaux

Evolution tendancielle des Habitats :

Cas du Haut et de l'Anti-Atlas

Migration des communautés végétales vers le nord depuis

l'isohyète 100 mm (1960) à l'isohyète 150 mm (1991)

Isohyète 150 mm

Isohyète 100 mm

Etage de Végétation	Surface 1961 (ha)	Surface 1991 (ha)	Evolution
Saharien	43 446 500	45 448 700	+2 002 200

Une augmentation de 2°C entraînerait une migration de 200km de latitude

Structures et particularités

Indicateurs et incidences

Caractérisation et simulation

Incidences du changement climatique sur les forêts

Propriétés du sol et Capacité de rétention en eau



Intensification de l'érosion des sols (crues/inondations)



Processus/Reproduction/Régénération/migration



Baisse de la croissance et de la vitalité des arbres/peuplements



Augmentation : fréquence /période à risque d'incendies



Disparition de Z.Humide, avifaune/migration



Prolifération/migration de bio-agresseurs



Tendance évolutive de la flore au Maroc

2050

22% de la flore du Maroc risque de disparaître en 2050

1994



Sens du transfert


Structures et particularités

Indicateurs et incidences

Caractérisation et simulation

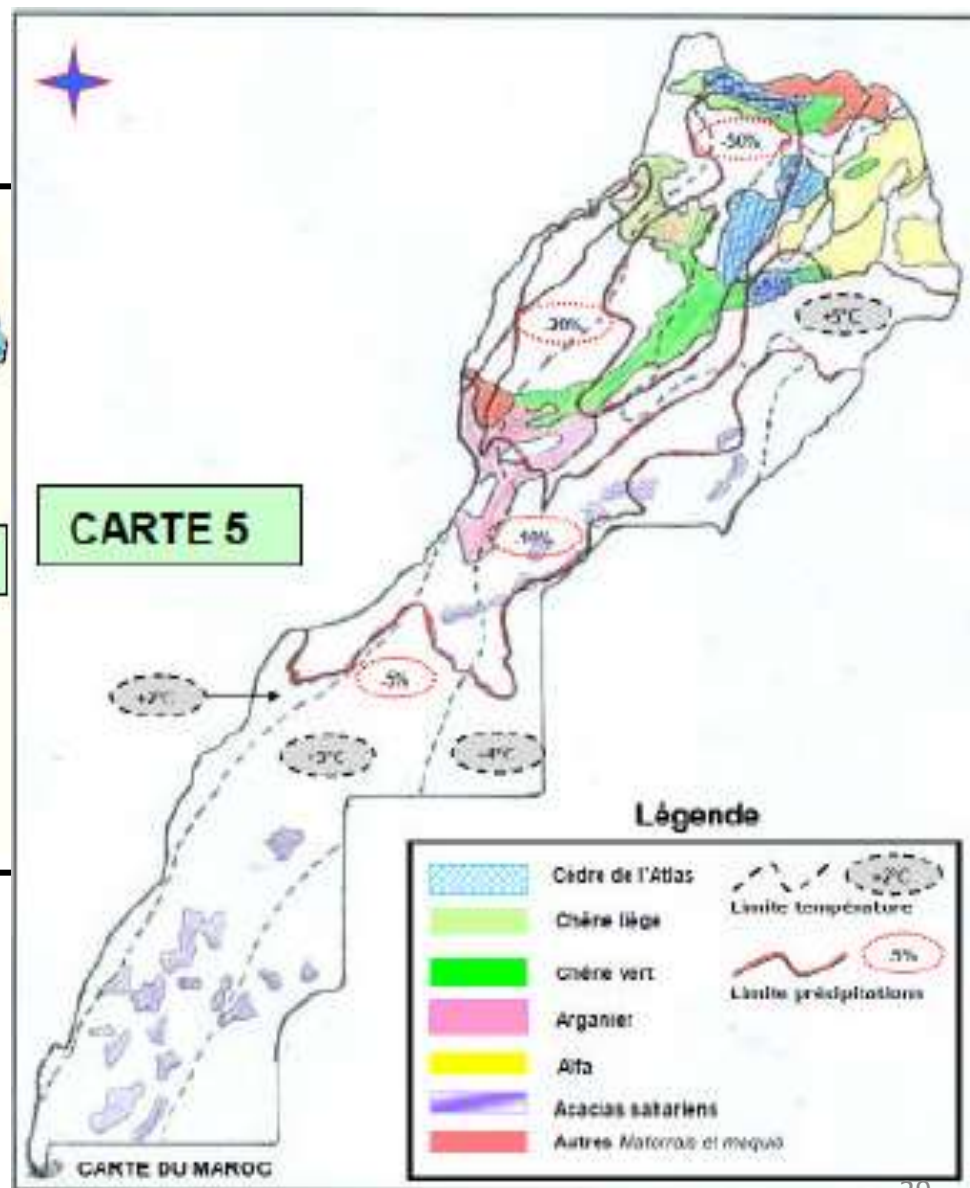
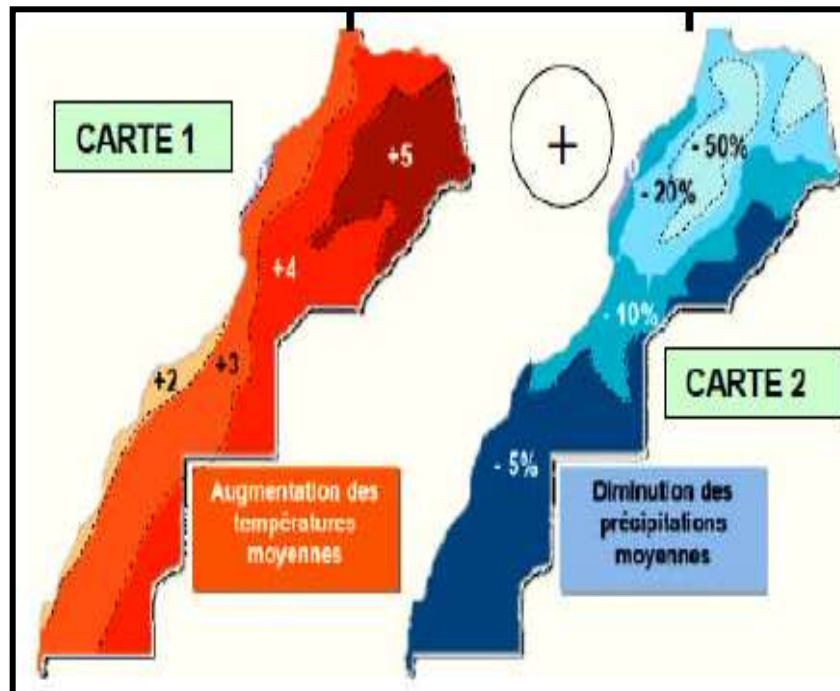
En guise de conclusion

- Les écosystèmes forestiers se caractérisent par une grande amplitude des seuils de tolérance climatique
- La dégradation qualitative des écosystèmes forestiers, est beaucoup plus inquiétante que la diminution apparente en surface: **Amplification du risque par le CC**
- Les impacts du changement climatique sur les forêts sont nuancés selon les écosystèmes naturels en fonction de plusieurs facteurs: **composition des espèces, conditions du milieu, pools génétiques, etc.**



**Caractérisation et simulations
du changement climatique
futur sur la forêt marocaine :
Cas du cèdre de l'Atlas**

Conditions climatiques futures pour les essences forestières



Projections futurs de températures et de précipitations pour les principales essences forestières (Scénario A2, 2050)

Contraction de l'enveloppe bioclimatique

Combinaisons extrêmes

Large dispersion

Structures et parti

Cèdre	Précipitations et températures actuelles		Précipitations et températures projetées (2050)		
	Régions phytogéographiques	Précipitations annuelles moyennes (mm)	Températures maximales moyennes (Tmax, en °C)	Précipitations annuelles pour 2050 (mm)	Températures maximales moyennes (Tmax, en °C) pour 2050
	Rif occidental	1588,0	26,20	1270,5	29,20
	Rif central	1482,0	26,25	741,5	30,25
	Rif oriental	960,0	25,60	768,0	29,60
	Moyen Atlas central	968,5	29,25	386,0	34,25
	Moyen Atlas oriental	771,0	27,60	629,5	32,60
	Haut Atlas oriental	649,0	26,40	519,0	31,40

Essences forestières	Tranche pluviométrique actuelle (mm/an)	Tranche pluviométrique projetée pour 2050 mm/a	
		(- 50%)	(- 20%)
Genévrier rouge	186-410	93-205	148-328
Thuya	350-627	175-313	280-501
Oléastre et lentisque	305-1338	152-669	244-1070
Jujubier et bétoum	190-409	95-204	152-327
Arganier	212-350	106-175	169-280

Simulation de l'impact du climat futur sur le cèdre

Méthode 1 : « Théorie du mouvement des écosystèmes »

Hypothèse :
Migration de
100
m/0.55°C

Aire relique
vers 2050

Zone géographique	Altitudes actuelles	Amplitude altitudinale actuelle (m) (I)	Augmentation projetée de température (°C)	Variation d'altitude (m) en 2050 (II)	Limite altitudinale inférieure en 2050	Tranche altitudinale (m) restante en 2050 (I) - (II)
Rif occidental	1400 à 2300	900	+3	545	1945	355
Rif central	1500 à 2400	900	+4	727	2227	173
Rif oriental	1700 à 2200	500	+4	727	2427	Contraction de l'aire et/ou disparition probable du cèdre
Moyen Atlas central	1500 à 2000	500	+5	909	2409	
Moyen Atlas oriental	1800 à 2000	200	+5	909	2709	
Haut Atlas oriental	1800 à 2400	600	+5	909	2709	

A RETENIR : l'importante dénivelée des montagnes du Rif peut offrir à haute altitude (1945-2300 m) un espace de zones refuges pour une migration éventuelle du cèdre de l'Atlas.

Résultat essentiel dans le contexte des connaissances scientifiques actuelles.

Structures et particularités

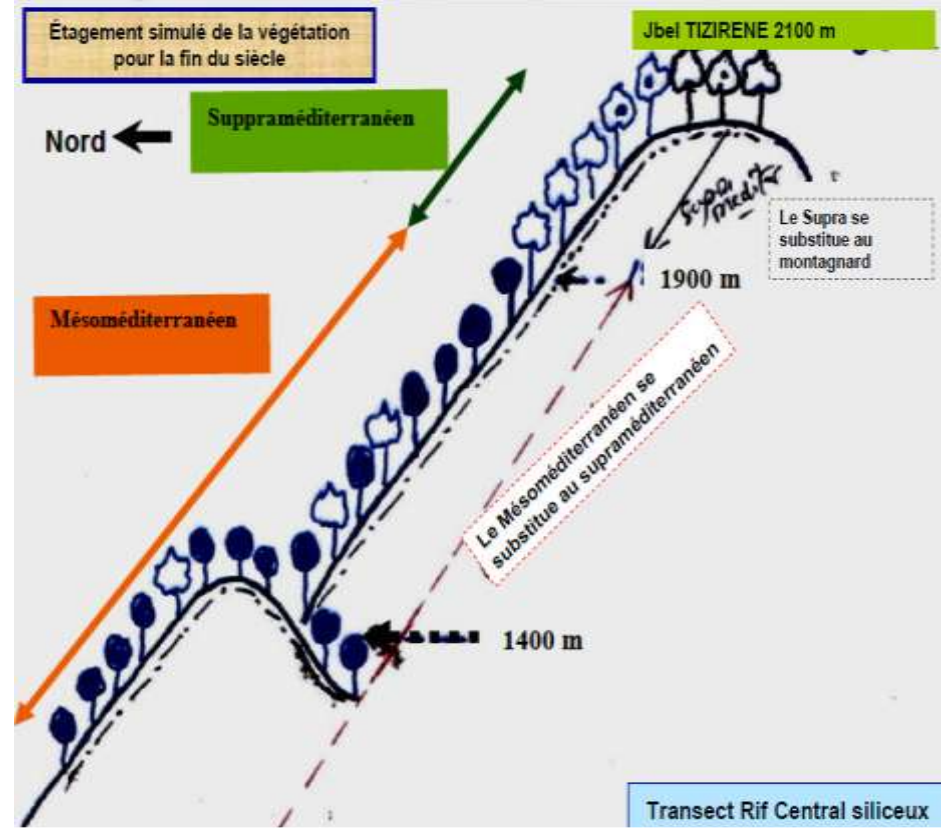
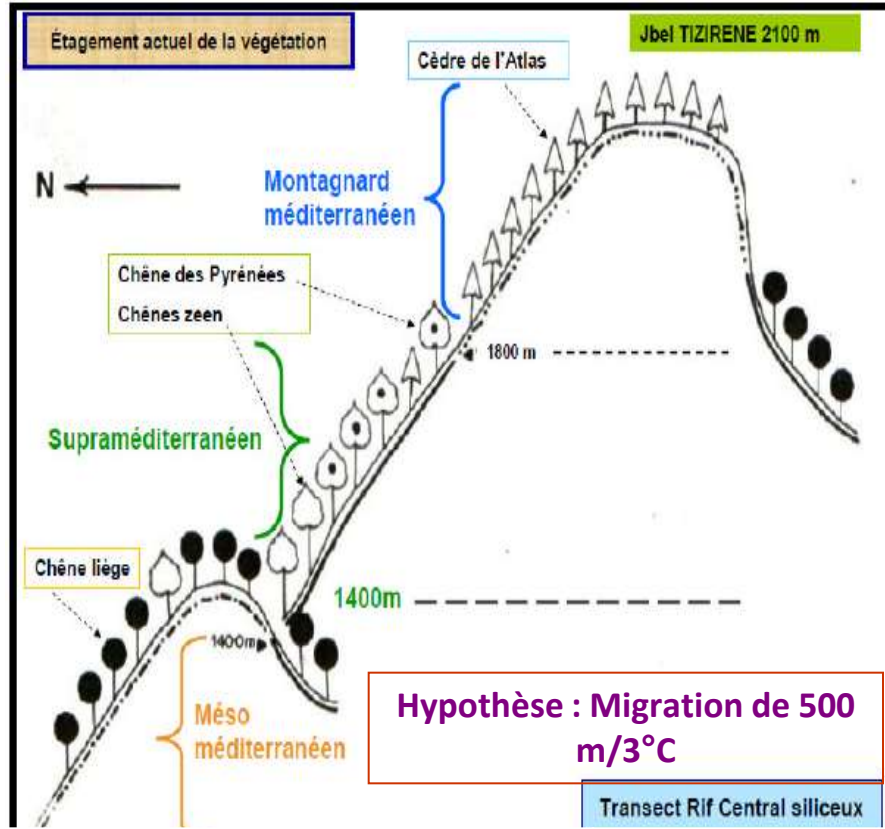
Indicateurs et incidences

Caractérisation et simulation

Simulation de l'impact du climat futur sur le cèdre

Étages de végétation vers 2100

Étage de végétation du cèdre par zone	Supraméditerranéen			Montagnard méditerranéen		
	Rif	Moyen Atlas	Haut Atlas	Rif	Moyen Atlas	Haut Atlas
Limites altitudinales actuelles	1400-1800	1600-2000	1800-2200	1800-2300	2000-2500	2200-2700
Limites vers 2100 : (500m / 3°C)	◆-----◆					
Limite supérieure des forêts	2400	2600	2800	2400	2600	2800



Structures et particularités

Indicateurs et incidences

Caractérisation et simulation

Simulation de l'impact du climat futur sur le cèdre

Méthode 2 : Simulation du « nombre de saisons de végétation » et de la « Période moyenne de croissance (PMC) »

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	J	PMC
Rif Central 1500 m 2000 m 2300 m				—						—			3.4. 2.1. 2.1.
Moyen-Atlas Atlantique 1500 m 2000 m				—						—			3.1. 1.1.
Moyen-Atlas Continental 1800 m				—									0.7.
Haut-Atlas 1800 m				—									1.0.

Région	Atitudes (m)	Précipitations moyennes (mm)	Température maximale moyenne (°C)	Période moyenne de croissance (mois/an)	Nombre de saison de végétation par an
Rif occidental	1400 à 2300	1588	26,20	2,1	2
Rif central	1500 à 2400	1482	26,25	3,4	2
Rif oriental	1700 à 2200	960	25,60	2,1	2
Moyen Atlas central	1500 à 2000	968,5	29,25	3,1	2
Moyen Atlas oriental	1800 à 2000	771	27,60	0,7	1
Haut Atlas oriental	1800 à 2400	649	26,40	1,0	0,7

Structures et particularités

Indicateurs et incidences

Caractérisation et simulation

Simulation de l'impact projeté du climat futur sur le cèdre

Méthode 2/ Étape 1 : Modélisation du « nombre de saison de végétation ».

».

Tableau 17 : Nombre actuel de saison de végétation et nombre estimée par le modèle A selon la zone géographique

Zone géographique	Nombre actuel de saison de végétation	Nombre estimé de saison de végétation
Rif occidental	2	1,94948
Rif central	2	2,07524
Rif oriental	2	2,01687
Moyen Atlas central	2	1,82706
Moyen Atlas oriental	1	1,23075
Haut Atlas oriental	0,7	0,6006

Validation

Modèle (A) :

$$N \text{ de saisons} = -140,453 + 109,408 \log(\text{Indice}) - 20,9751 \log(\text{Indice})^2$$

$$I = (12P/T + 10)$$

$$R^2 = 94,4 \% \text{ et } R^2 \text{ ajusté} = 90,6 \%, ; \text{ écart type} = 0,1839$$

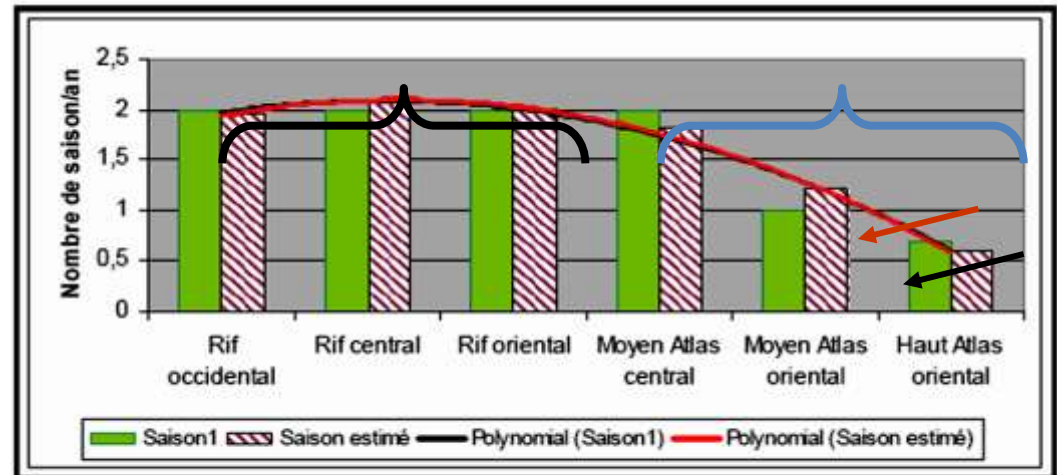


Figure 48 : Tendances comparées du nombre actuel et ajusté de saison de végétation par zone géographique pour le cèdre de l'Atlas

Simulation de l'impact projeté du climat futur sur le cèdre

Méthode 2/ Étape 2 : Modélisation de la Période moyenne de

Tableau 18 : PMC actuelle et estimée par le modèle B, selon la zone géographique

Zone géographique	PMC actuelle	PMC estimée
Rif occidental	2,1	2,07596
Rif central	3,4	3,27885
Rif oriental	2,1	2,00383
Moyen Atlas central	3,1	3,27885
Moyen Atlas oriental	0,7	0,88606
Haut Atlas oriental	1,0	0,88606

Modèle (B):

$$PMC = - 11,0 + 1,96 X_1 + 0,374 X_2 - 0,00268 X_3 + 0,00450 X_4$$

$$R^2 = 94,5\% ; R^2 \text{ ajté} = 72,4\%, \\ S = 0,5681$$

X1 : n. de saison estimé ; **X2** : Moyenne des temp. estivales ; **X3** : préc. moyennes, et **X4** : Dénivelée entre l'altitude sup. et inf. du cèdre

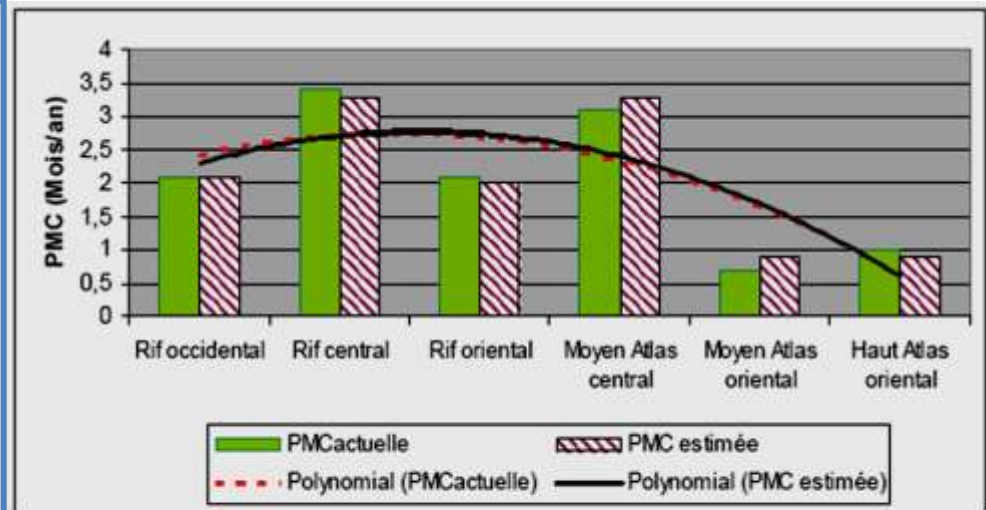


Figure 49 : Tendances comparées de la période moyenne de croissance actuelle et estimée par zone géographique du cèdre de l'Atlas

Simulation de l'impact projeté du climat futur sur le cèdre

Méthode 2/ Étape 3 : Estimation du Nombre de saisons de végétation et de la Période moyenne de croissance (PMC) à l'Horizon 2050

Tableau 19 : Valeurs projetées (2050) du nombre de saison de végétation et de la PMC pour le cèdre de l'Atlas

ZONE	Nombre projeté de saison de végétation 2050	PMC projetée pour 2050
Rif occidental (RO)	2,21055	4,89854
Rif central (RC)	0,76093	3,86771
Rif oriental (ROR)	0,99723	2,21673
Moyen Atlas central (MAC)	- 5,03921	- 6,85183
Moyen Atlas oriental (MAO)	- 0,48999	- 0,55504
Haut Atlas oriental (HA)	- 1,67339	- 1,22716

Seuil de tolérance du cèdre
550mm/an

- **Tendance à la hausse** : Rif occidental et central,
- **Ascension moins importante** : Rif oriental (non significative).
- **Tendance à la baisse** : Moyen et Haut Atlas (valeurs négatives ou disparition des conditions de croissance)

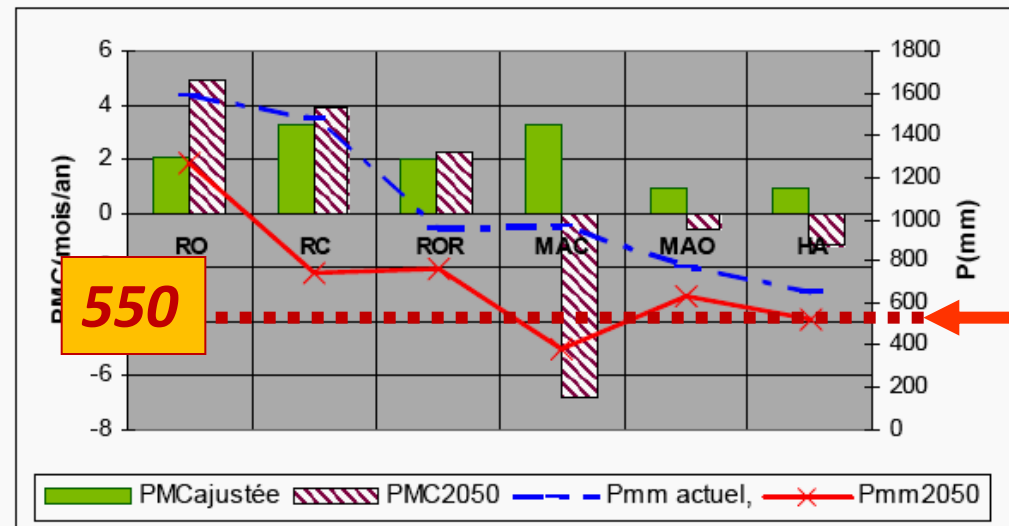


Figure 50 : Tendances comparées des précipitations moyennes et de la PMC actuelle

En guise de conclusion

- **Les résultats, des simulations et des projections du comportement du cèdre sont rendus possibles eu égard à la disponibilité de données pertinentes .**
- **Ces résultats sont significatifs mais ne constituent pas, une prévision sûre pour les écosystèmes forestiers. Des incertitudes subsistent sur le comportement des essences forestières :**
 - **seront-elles capables de s'adapter à la compétition avec de nouvelles espèces ?**
 - **Quels seront les équilibres avec les nouveaux cortèges de pathogènes et de symbiotes ?**
 - **Quel rôle jouera la variabilité génétique ? Quelles seront les capacités des espèces à coloniser de nouvelles niches climatiques ?**