

BG-C-3 CLIMAT ET VARIABILITÉ CLIMATIQUE

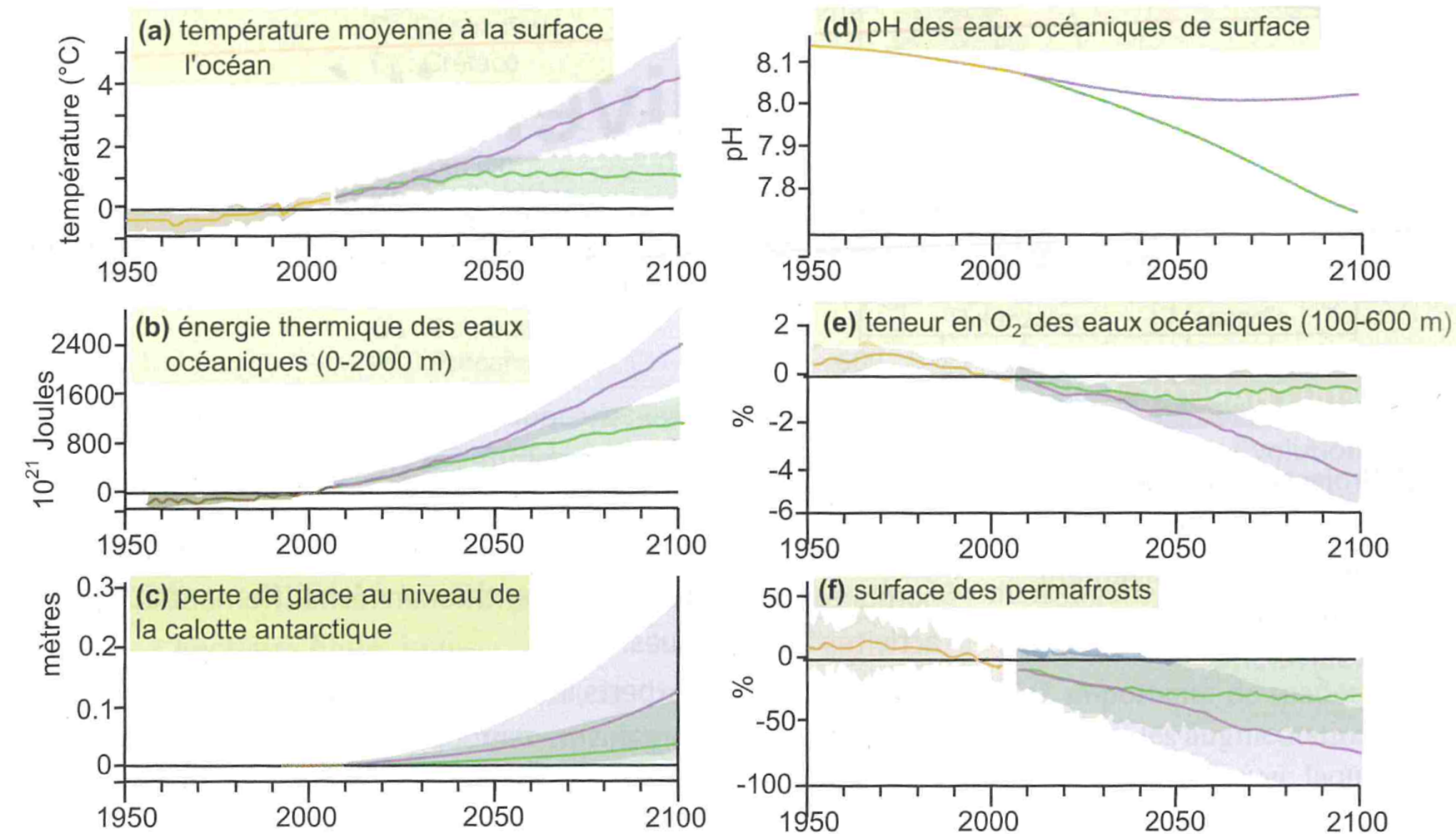
BG-C-3-3 Changement climatique anthropique et impacts sur la biodiversité

- *Quels sont les marqueurs d'un réchauffement climatique ?*
- *Quelles en sont les conséquences sur l'évolution des enveloppes géologiques externes (notamment l'hydrosphère) et sur la biodiversité ?*

Savoirs visés	Capacités exigibles
BG-C-3-3 Changement climatique anthropique et impacts sur la biodiversité	
Projections climatiques et réchauffement actuel	
Le réchauffement climatique observé est attribué à l’augmentation des GES liée à l’activité humaine et la modification de l’usage des terres. Les projections climatiques montrent que l’amplitude du réchauffement varie en fonction des scénarios relatifs aux émissions de GES.	- Analyser différents scénarios de réchauffement climatique à partir de projections présentées dans les rapports du GIEC.
Quelques impacts du changement climatique sur la biodiversité	
· Le changement climatique est un facteur de vulnérabilité pour la biodiversité, contribuant à l'érosion de la biodiversité. Les effets du changement climatique sur la biodiversité s'observent à l'échelle des individus, des populations, des espèces et des communautés. Le changement climatique peut être à l'origine d'adaptation physiologique des individus et d'adaptation évolutive des populations. Chez beaucoup d'espèces, on observe en réponse au changement climatique une évolution de leur aire de répartition (déplacement en latitude, altitude), de leur phénologie, de leur abondance et des relations interspécifiques qu'elles entretiennent. Les capacités d'adaptation des espèces au changement climatique dépendent de la vitesse du changement climatique.	· - Exploiter des données montrant l'influence de la température et de la disponibilité en eau sur la répartition d'espèces. - Exploiter des données montrant des adaptations (au changement climatique : • à l'échelle des organismes (adaptations physiologiques); • des populations/espèces (déplacement de l'aire de répartition); • des communautés (modification du nombre d'individus par espèce, de la richesse spécifique ainsi que des relations interspécifiques).

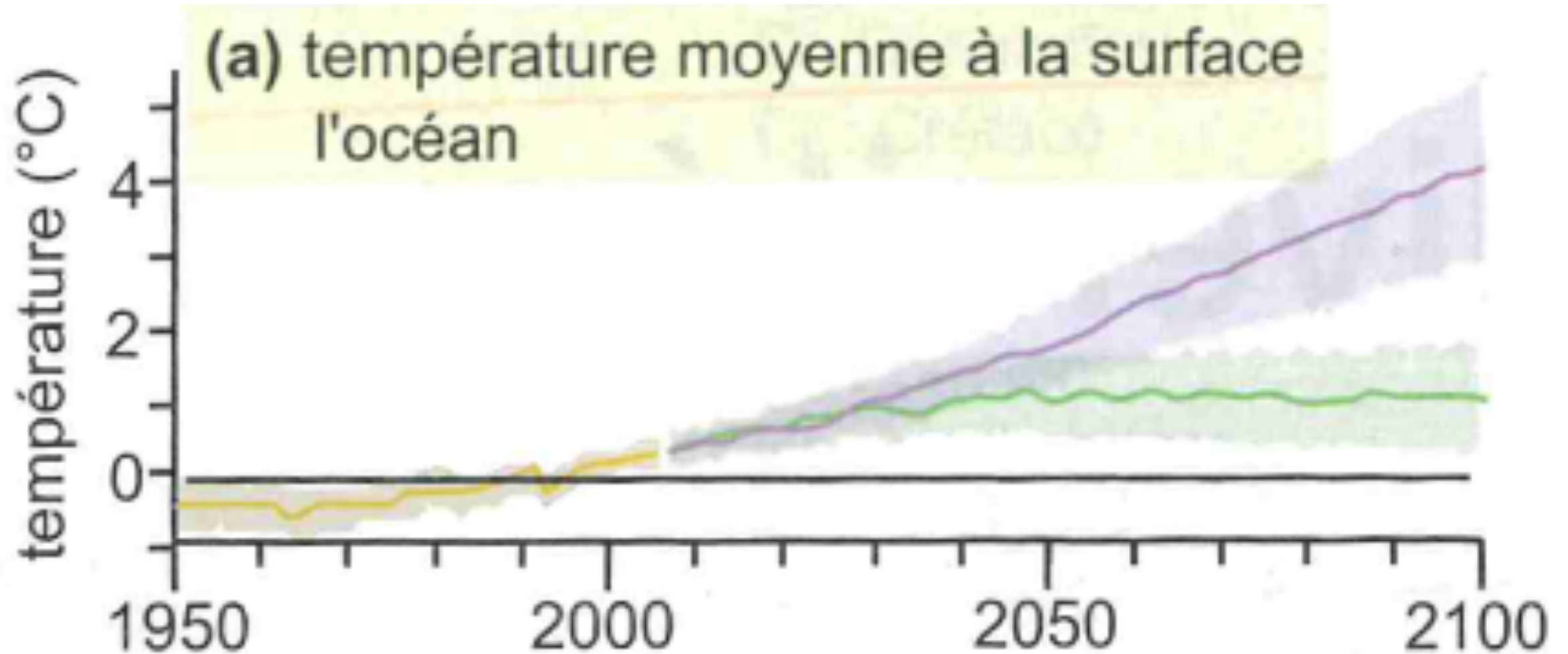
I- PROJECTIONS CLIMATIQUES ET RECHAUFFEMENT ACTUEL

Document 1 : Évolution mesurée (avant 2020) et prédite (de 2020 à 2100 ou 2300) de certains marqueurs atmosphériques, hydrosphériques et cryosphériques



En brun : valeurs mesurées sur la période 1950 – 2015 ;
En violet : projections pessimistes ;
En vert : projections optimistes). Les domaines colorés encadrant les courbes représentent l'incertitude des estimations.

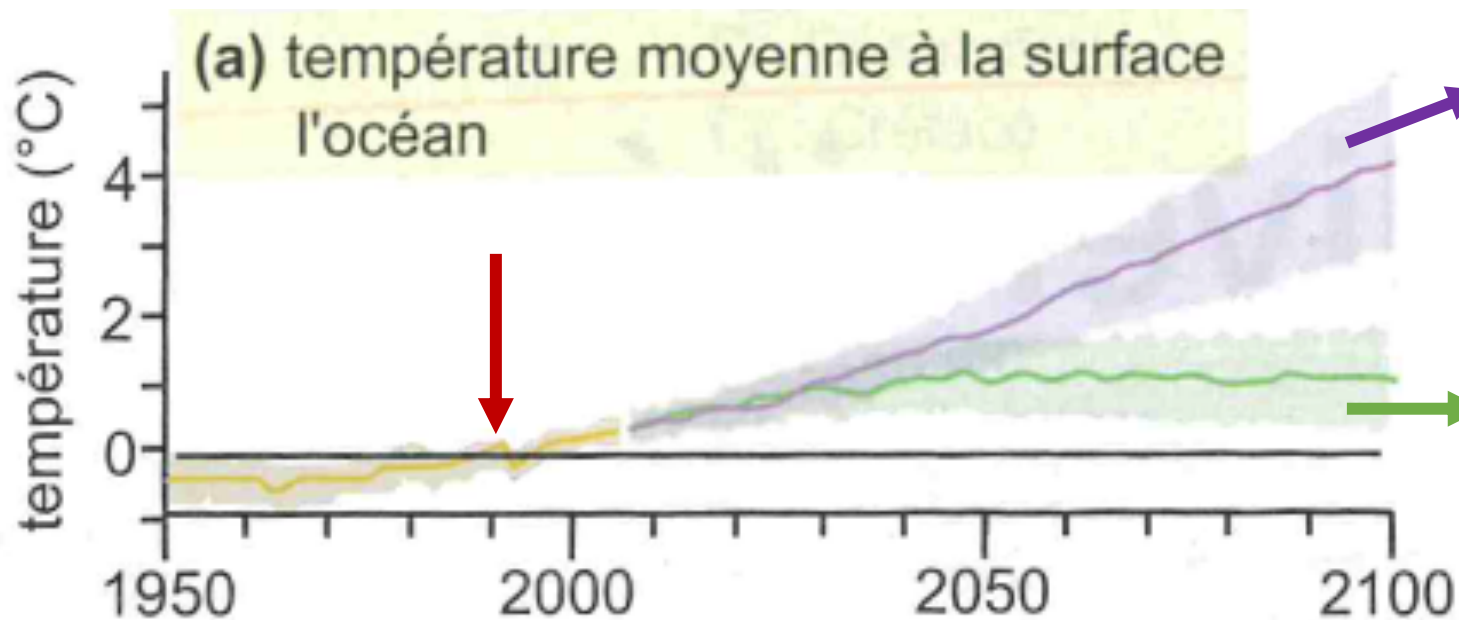
La **figure I-a** (évolution de la température à la surface des océans) constitue un marqueur direct du réchauffement climatique.
1-Analyser la figure la et concluez



Trait noir: température de référence établie sur la période 1986-2005

La **figure I-a** (évolution de la température à la surface des océans) constitue un marqueur direct du réchauffement climatique.

1-Analyser la figure la et concluez



2- Les projections indiquent un accroissement de 3 à 5 °C dans l'hypothèse pessimiste.

3- En revanche, un arrêt total de la production des GES se traduirait par une stabilisation des températures autour d'une valeur excédant de +1 °C la moyenne de référence, mais uniquement à partir de 2050.

1- On constate que la température de référence (établie sur la moyenne 1986-2005) a été atteinte vers 1990 ; elle est d'environ 0,5 °C supérieure aux températures mesurées entre 1950 et 1980.

→ Les GES émis actuellement ont donc un impact sur une trentaine d'années.

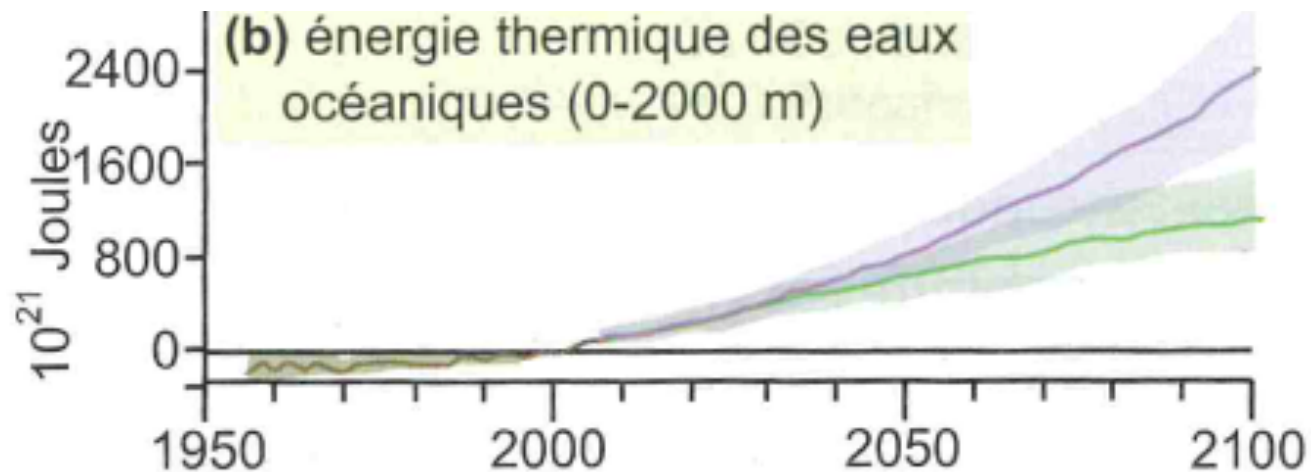
Tableau 2 : Exploitation des documents b à f de la figure 1.

2- Complétez le tableau 2 :

- Analysez les données du document 1 pour compléter les évolutions constatées et projetées (colonne 1)*
- Citez les conséquences envisageables (colonne 3)*

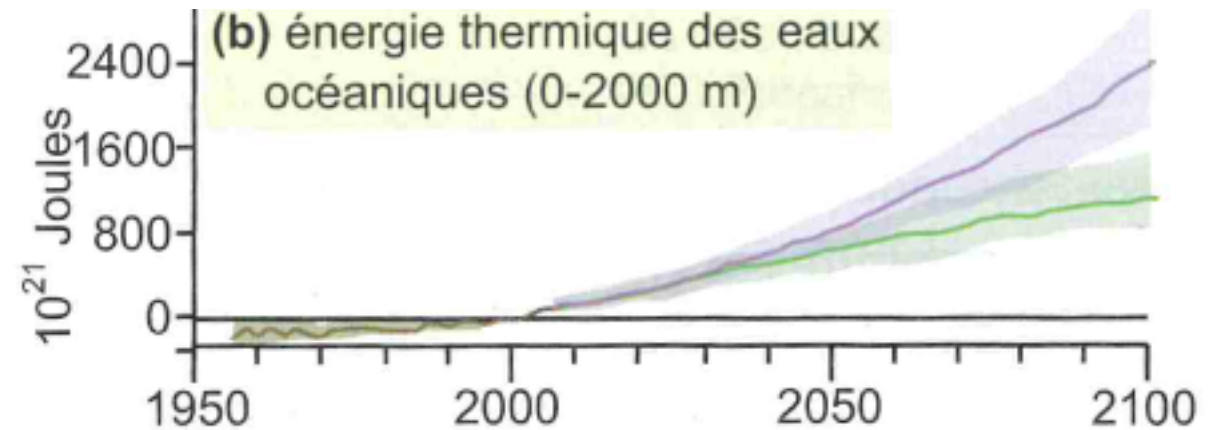
HYDROSPHERE

Marqueurs	Évolutions constatées et projetées	Lien avec le réchauffement	Conséquences envisageables
Energie thermique océanique (doc b)		· Le réchauffement de l'atmosphère se répercute sur l'hydrosphère, avec une latence assez importante (la capacité thermique massique de l'eau étant importante : $4,18 \text{ J.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$).	



HYDROSPHERE

Marqueurs	Évolutions constatées et projetées
Energie thermique océanique (doc b)	· Horizon 2100 : l'énergie thermique augmente : - de manière affine dans l'hypothèse optimiste ; - de manière exponentielle dans l'autre hypothèse avec alors une valeur triple de la précédente. Même si les températures atmosphériques cessent de progresser, l'énergie thermique continue de s'accumuler jusqu'en 2100.

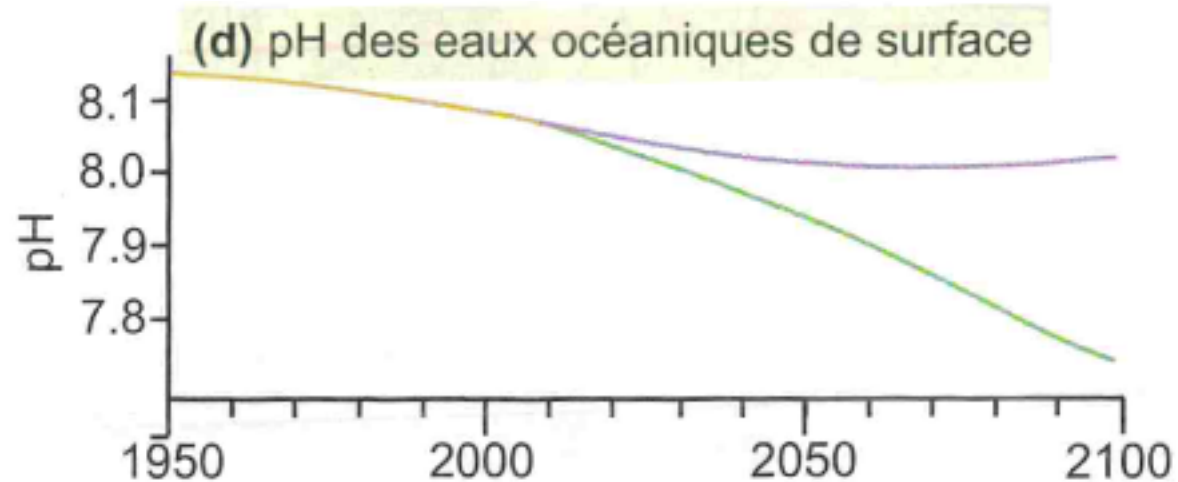


HYDROSPHERE

Marqueurs	Évolutions constatées et projetées	Lien avec le réchauffement	Conséquences envisageables
Energie thermique océanique (doc b)	· Horizon 2100 : l'énergie thermique augmente : - de manière affine dans l'hypothèse optimiste ; - de manière exponentielle dans l'autre hypothèse avec alors une valeur triple de la précédente. Même si les températures atmosphériques cessent de progresser, l'énergie thermique continue de s'accumuler jusqu'en 2100.	· Le réchauffement de l'atmosphère se répercute sur l'hydrosphère, avec une latence assez importante (la capacité thermique massique de l'eau étant importante : $4,18 \text{ J.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$).	- Modifications des températures océaniques de surface ; perturbations du couplage océan/atmosphère et des courants océaniques. - Intensifications des phénomènes météorologiques extrêmes (cyclones). - Dilatation thermique des eaux océaniques ce qui participe à la hausse du niveau marin.

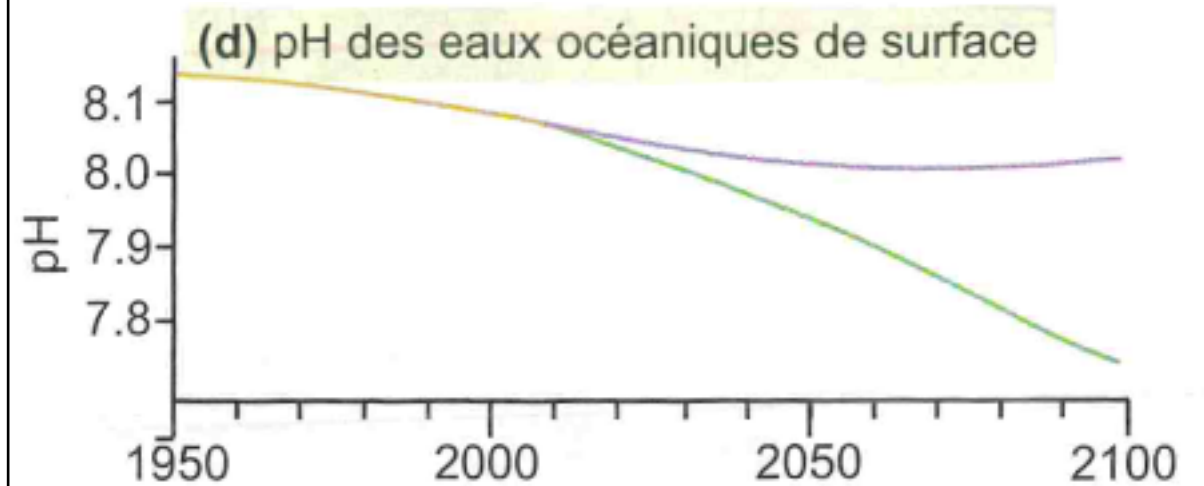
HYDROSPHERE

Marqueurs	Évolutions constatées et projetées	Lien avec le réchauffement	Conséquences envisageables
pH des eaux de surface (doc d)	•	· Lien direct avec l'augmentation du CO_2 . Le CO_2 dissous donne un acide faible, l'acide carbonique. Celui-ci produit des ions HCO_3^- , et des protons, qui acidifient les eaux de surface .	



HYDROSPHERE

Marqueurs	Évolutions constatées et projetées
pH des eaux de surface (doc d)	- pH moyen de 8,15 à 8,05 de 1950 à 2000. Horizon 2100 : La tendance est une acidification des eaux océaniques de surface ; selon les hypothèses : - faible variation ; maintien autour de 8,05 ; - acidification marquée, entre 7,7 et 7,8

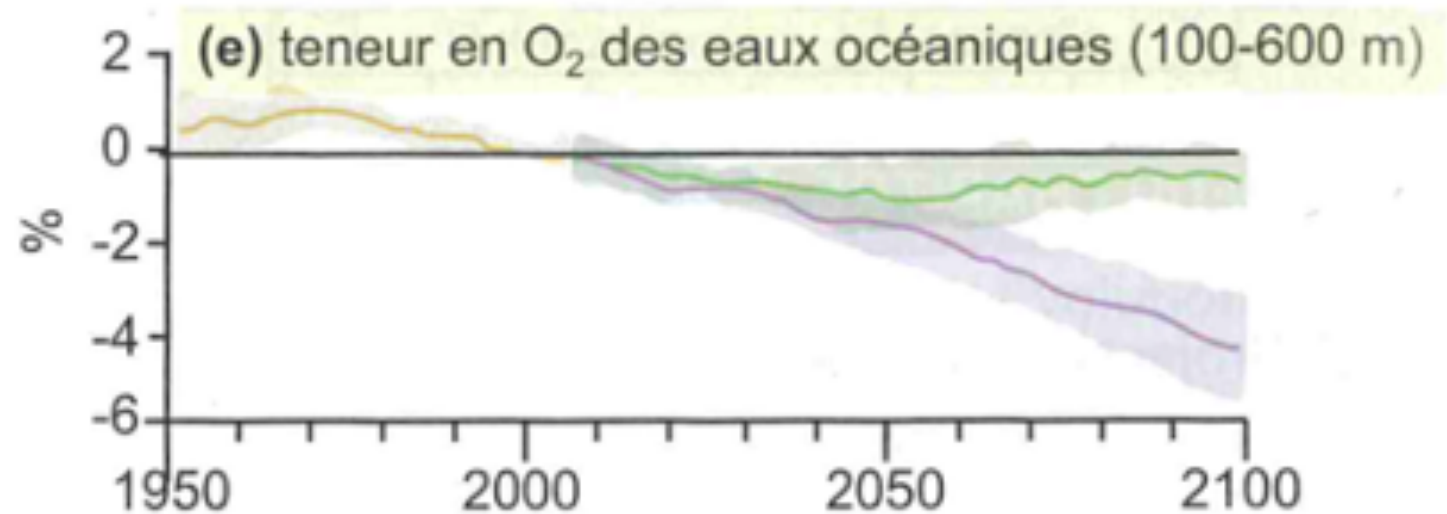


HYDROSPHERE

Marqueurs	Évolutions constatées et projetées	Lien avec le réchauffement	Conséquences envisageables
pH des eaux de surface (doc d)	- pH moyen de 8,15 à 8,05 de 1950 à 2000. Horizon 2100 : La tendance est une acidification des eaux océaniques de surface ; selon les hypothèses : - faible variation ; maintien autour de 8,05 ; - acidification marquée, entre 7,7 et 7,8	· Lien direct avec l'augmentation du CO₂. Le CO₂ dissous donne un acide faible, l'acide carbonique. Celui-ci produit des ions HCO₃⁻, et des protons, qui acidifient les eaux de surface.	Les variations affectent la biosphère océanique principalement localisée dans les eaux de surface. L'acidification modifie la physiologie des organismes et altère la fabrication des tests (foraminifères), des coquilles (mollusques) et des squelettes carbonatés des coraux.

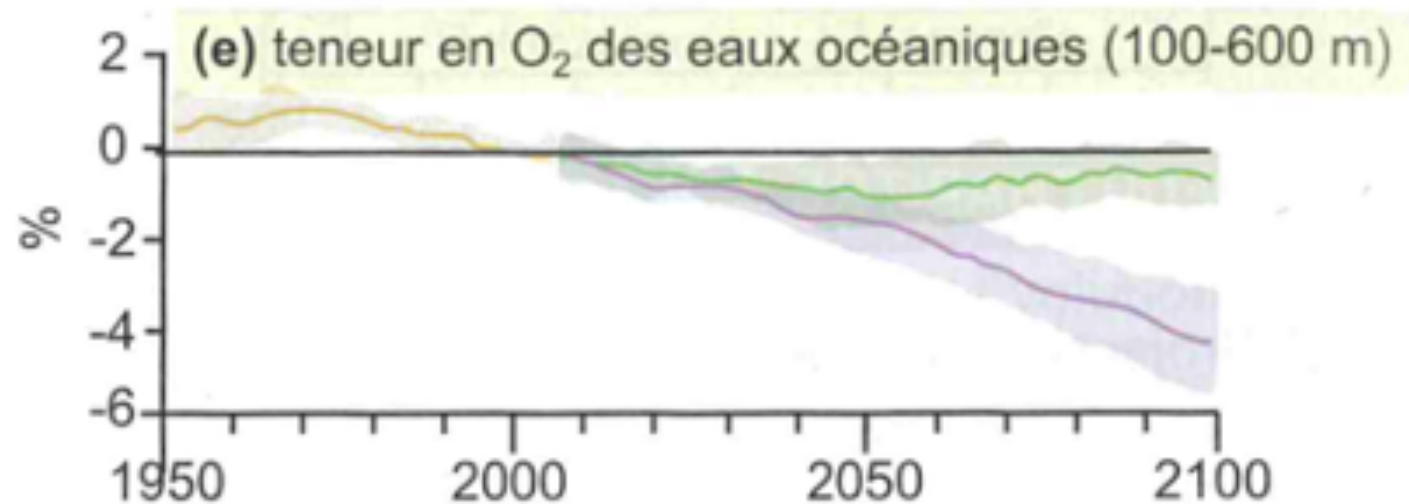
HYDROSPHERE

Marqueurs	Évolutions constatées et projetées	Lien avec le réchauffement	Conséquences envisageables
Quantité d'O ₂ dissous (doc e)		· Diminution de la solubilité de l'O ₂ dans l'eau lorsque la température augmente.	



HYDROSPHERE

Marqueurs	Évolutions constatées et projetées	Lien avec le réchauffement	Conséquences envisageables
Quantité d'O ₂ dissous (doc e)	· La tendance est une diminution de la teneur en O₂. Horizon 2100 : - baisse de 0,5 +/- 0,5 % ; - baisse de 4 +/- 1 %.	· Diminution de la solubilité de l'O₂ dans l'eau lorsque la température augmente.	· La biodiversité sera affectée par l'hypoxie des eaux de surface.

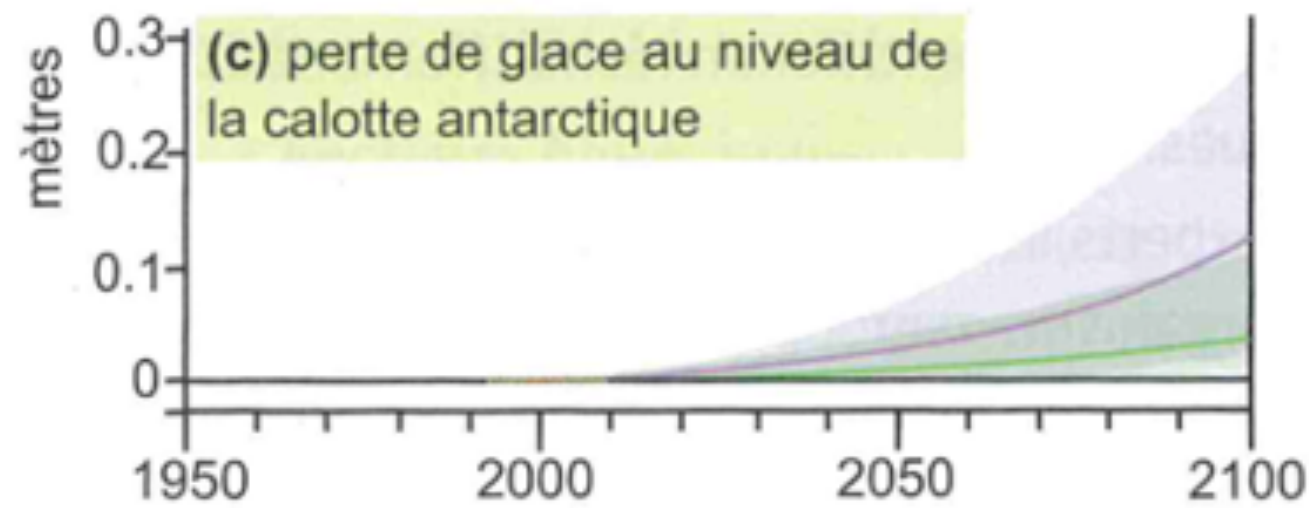


HYDROSPHERE

Marqueurs	Évolutions constatées et projetées	Lien avec le réchauffement	Conséquences envisageables
Quantité d'O ₂ dissous (doc e)	· La tendance est une diminution de la teneur en O₂. Horizon 2100 : - baisse de 0,5 +/- 0,5 % ; - baisse de 4 +/- 1 %.	· Diminution de la solubilité de l'O₂ dans l'eau lorsque la température augmente.	· La biodiversité est affectée par l'hypoxie des eaux de surface.

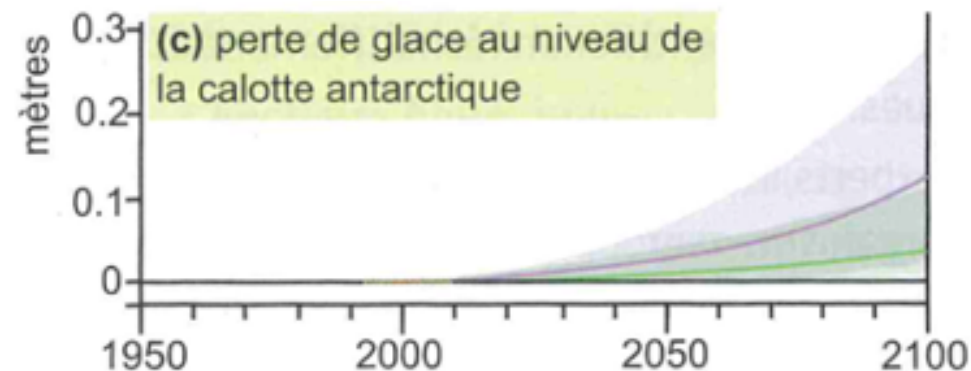
CRYOSPHERE

Marqueurs	Évolutions constatées et projetées	Lien avec le réchauffement	Conséquences envisageables
Glace de la calotte antarctique (doc c)		· Fonte accrue de la glace lors d'étés plus chauds. - Moindre reconstitution de la glace en hiver du fait de précipitations neigeuses plus faibles	



CRYOSPHERE

Marqueurs	Évolutions constatées et projetées	Lien avec le réchauffement	Conséquences envisageables
Glace de la calotte antarctique (doc c)	· Perte insensible (à cette échelle) jusqu'en 2005. - Horizon 2100 : - fonte conduisant à une hausse maximale du niveau marin de 0,1 m par rapport à la valeur de référence ; - fonte trois fois plus importante.	· Fonte accrue de la glace lors d'étés plus chauds. - Moindre reconstitution de la glace en hiver du fait de précipitations neigeuses plus faibles	

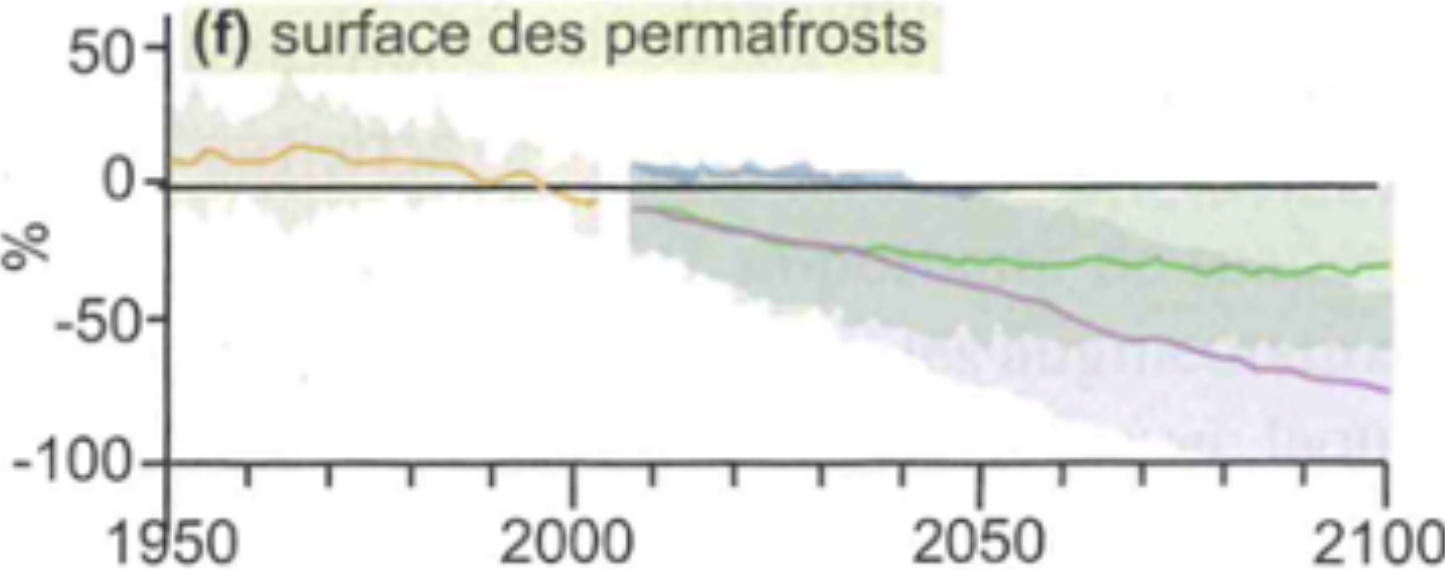


CRYOSPHERE

Marqueurs	Évolutions constatées et projetées	Lien avec le réchauffement	Conséquences envisageables
Glacière de la calotte antarctique (doc c)	· Perte insensible (à cette échelle) jusqu'en 2005. Horizon 2100 : - fonte conduisant à une hausse maximale du niveau marin de 0,1 m par rapport à la valeur de référence ; - fonte trois fois plus importante.	· Fonte accrue de la glace lors d'étés plus chauds. Moindre reconstitution de la glace en hiver du fait de précipitations neigeuses plus faibles	· - Débâcles glaciaires accrues (vêlage de grandes quantités d'icebergs). - Modification du régime de courants océaniques en périphérie du continent englacé. - Modification de l'albédo et du bilan radiatif dans les régions polaires. - Hausse du niveau des mers.

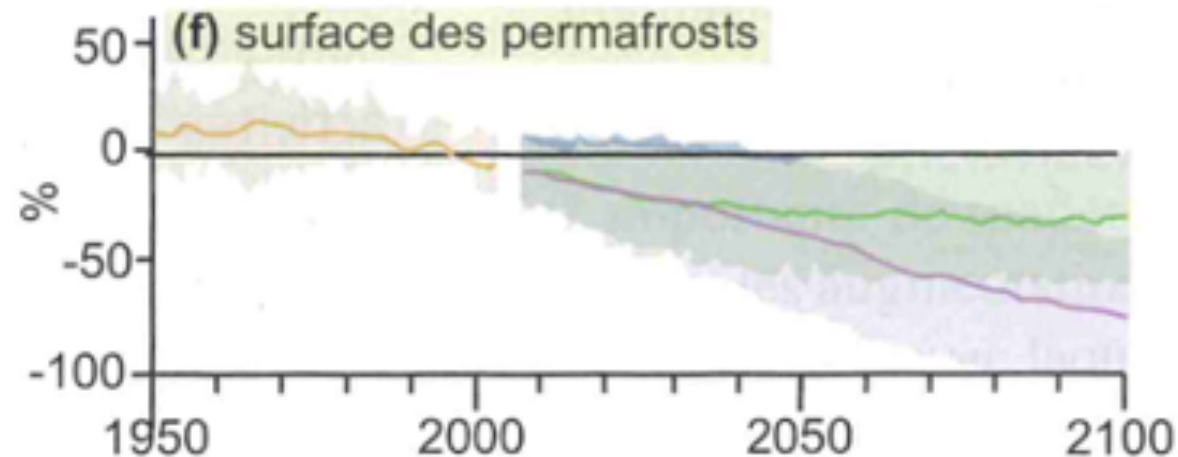
CRYOSPHERE

Marqueurs	Évolutions constatées et projetées	Lien avec le réchauffement	Conséquences envisageables
· Surface du permafrost (doc. f)	·	· Augmentation du nombre de jours où la température excède 0°C dans les régions polaires arctiques	·



CRYOSPHERE

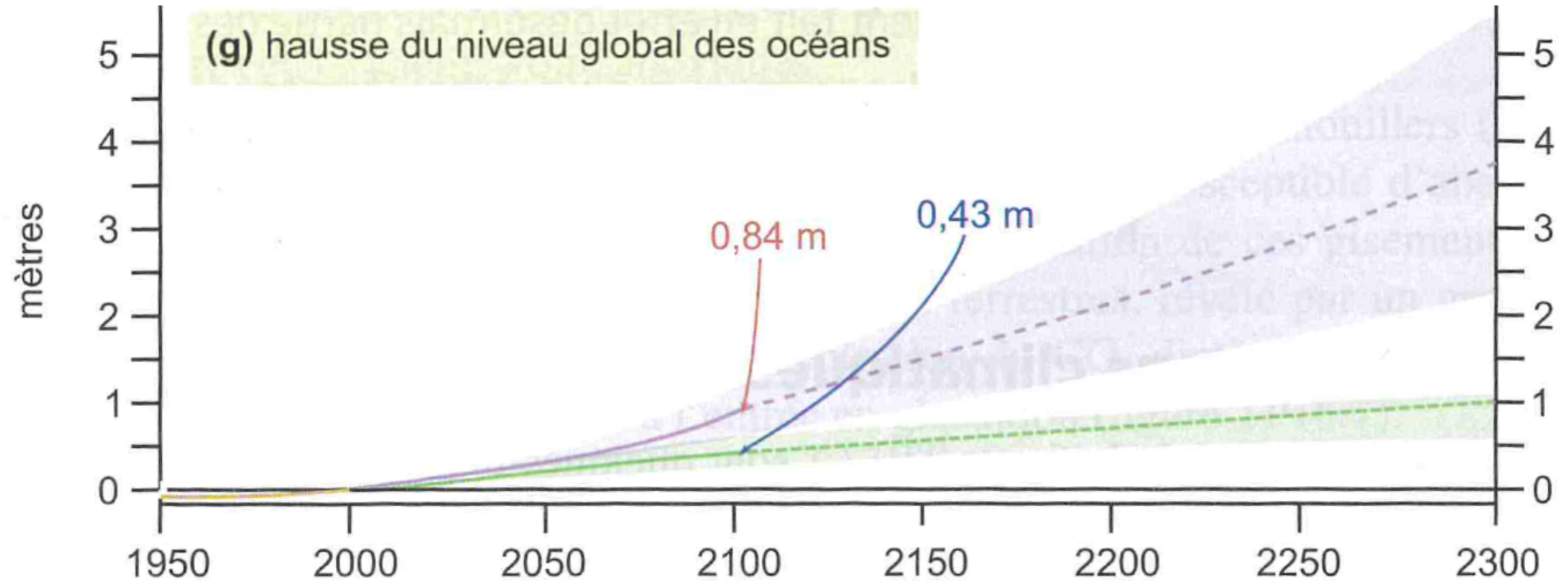
Marqueurs	Évolutions constatées et projetées	Lien avec le réchauffement	Conséquences envisageables
· Surface du permafrost (doc. f)	· Diminution de quelques % entre 1950 et 2005. Horizon 2100 : - baisse de 30 +/- 25 % ; - baisse de 70 +/- 30 %.	· Augmentation du nombre de jours où la température excède 0°C dans les régions polaires arctiques	·



CRYOSPHERE

Marqueurs	Évolutions constatées et projetées	Lien avec le réchauffement	Conséquences envisageables
· Surface du permafrost (doc. f)	· Diminution de quelques % entre 1950 et 2005. Horizon 2100 : - baisse de 30 +/-25 % ; - baisse de 70 +/-30 %.	· Augmentation du nombre de jours où la température excède 0°C dans les régions polaires arctiques	· - Augmentation de l'oxydation de la matière organique initialement piégée dans le permafrost. - Libération du méthane piégé dans les clathrates ; augmentation rapide des GES libérés dans l'atmosphère. - Déstabilisation des installations (exemple des pipelines ...) scellées sur le permafrost.

· 3-Analysez ces résultats et citez des conséquences du point de vue géologique, écologique et sociétal



· 3-Analysez ces résultats et citez des conséquences du point de vue géologique, écologique et sociétal

Les modèles en prévoient la hausse moyenne de 0,3 à 0,8 m à l'horizon 2100 (et de 0,5 à 5 m à l'horizon 2300).

Les conséquences de la hausse du niveau marin sont très diversifiées :

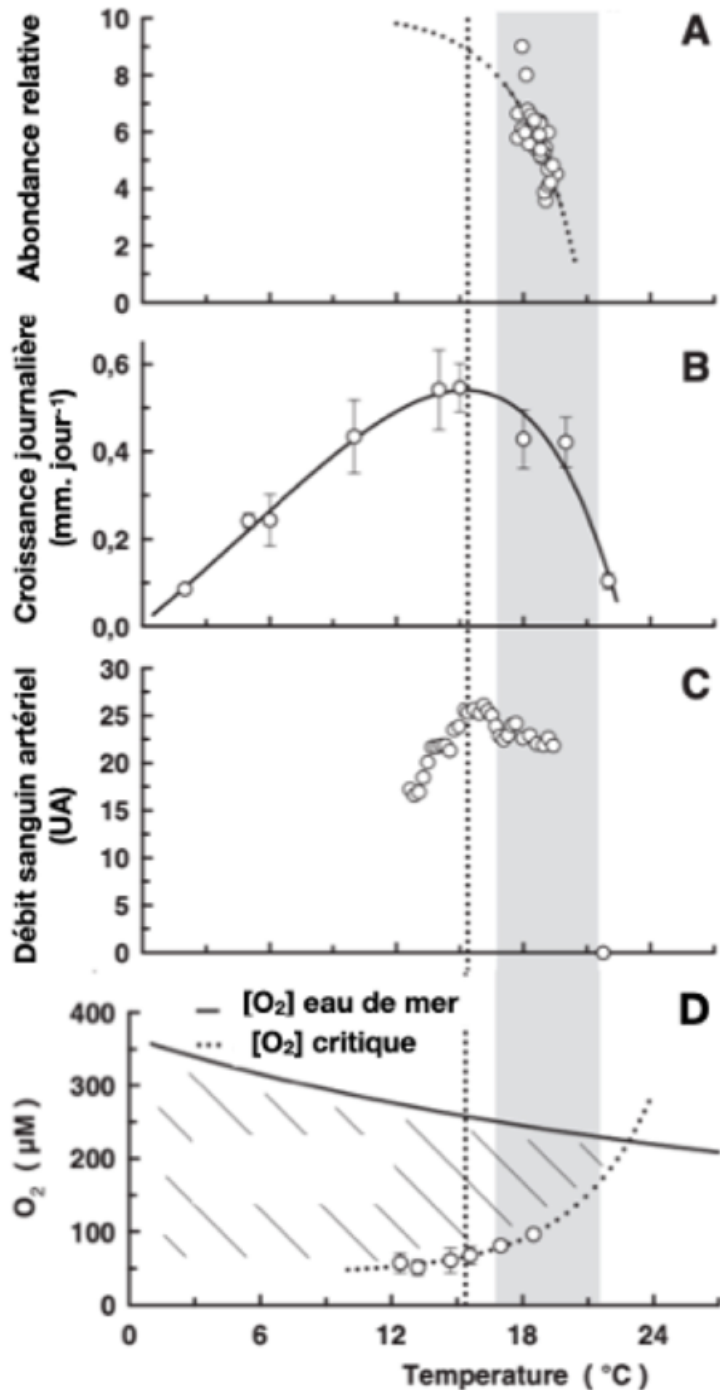
- du point de vue géologique et écologique : érosion des littoraux, inondations de plaines côtières, submersion des îles basses ;
- du point de vue sociétal : actuellement, près de 700 millions de personnes vivent dans des zones côtières basses susceptibles de disparaître ou d'être profondément modifiées en cas de hausse avérée du niveau marin : flux migratoires

II- IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA BIODIVERSITE A DIFFERENTES ECHELLES

1- Adaptation physiologique à l'augmentation de température : cas d'organismes ectothermes

a) Les conséquences d'une augmentation de température sur les capacités d'oxygénation des tissus : cas des anguilles (*Zoarces viviparus*)

Document 4 : Étude des effets d'une augmentation de température sur l'abondance et la physiologie des anguilles des côtes Allemandes de la mer du Nord.



A : Abondance relative des anguilles en fonction de la température de surface de l'eau (synthèse de relevés effectués sur le terrain).

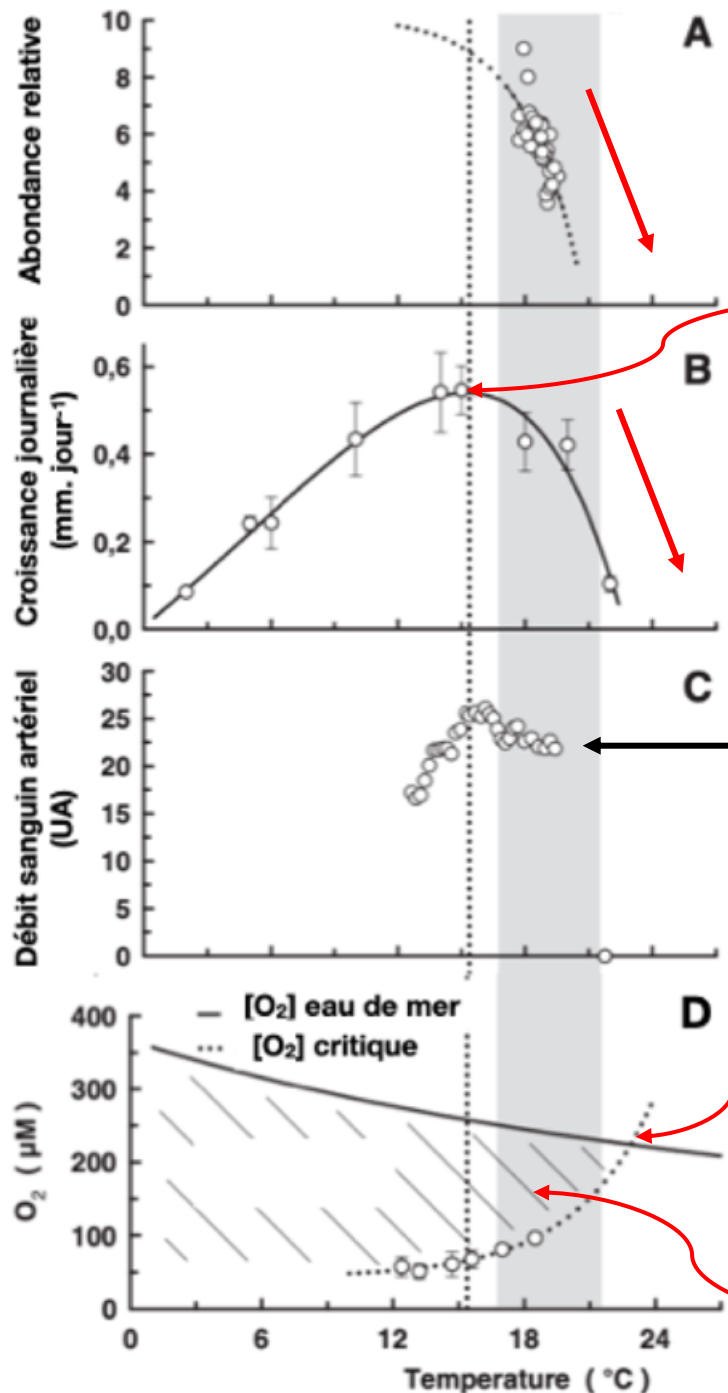
B à D : études réalisées en aquarium en laboratoire

B : Croissance journalière en fonction de la température

C : Flux sanguin artériel en fonction de la température (unités arbitraires)

D : Pression partielle en dioxygène de l'eau de mer et pression partielle en dioxygène à laquelle l'animal entre en hypoxie au repos ($[O_2]$ critique)

Les barres d'erreur correspondent à l'erreur standard



Baisse parallèle de la taille de population

Température optimale de croissance : 15 °C

Diminution de croissance

Cette baisse peut s'expliquer par une mauvaise alimentation du cœur en dioxygène, ce qui limite son fonctionnement et le débit cardiaque.

Écart nul => le poisson entre en hypoxie

l'écart entre la pression partielle en dioxygène de l'eau et la pression à laquelle le poisson est en hypoxie au repos se réduit

Le problème d'oxygénation des tissus avec l'augmentation de température peut expliquer la baisse de croissance des anguilles et leur mortalité plus élevée lors d'été particulièrement chauds.

b) Adaptation physiologique à l'augmentation de température

Document 5 : Lieu de reproduction des saumons des trois populations étudiées. Les flèches rouges représentent le sens de migration des saumons

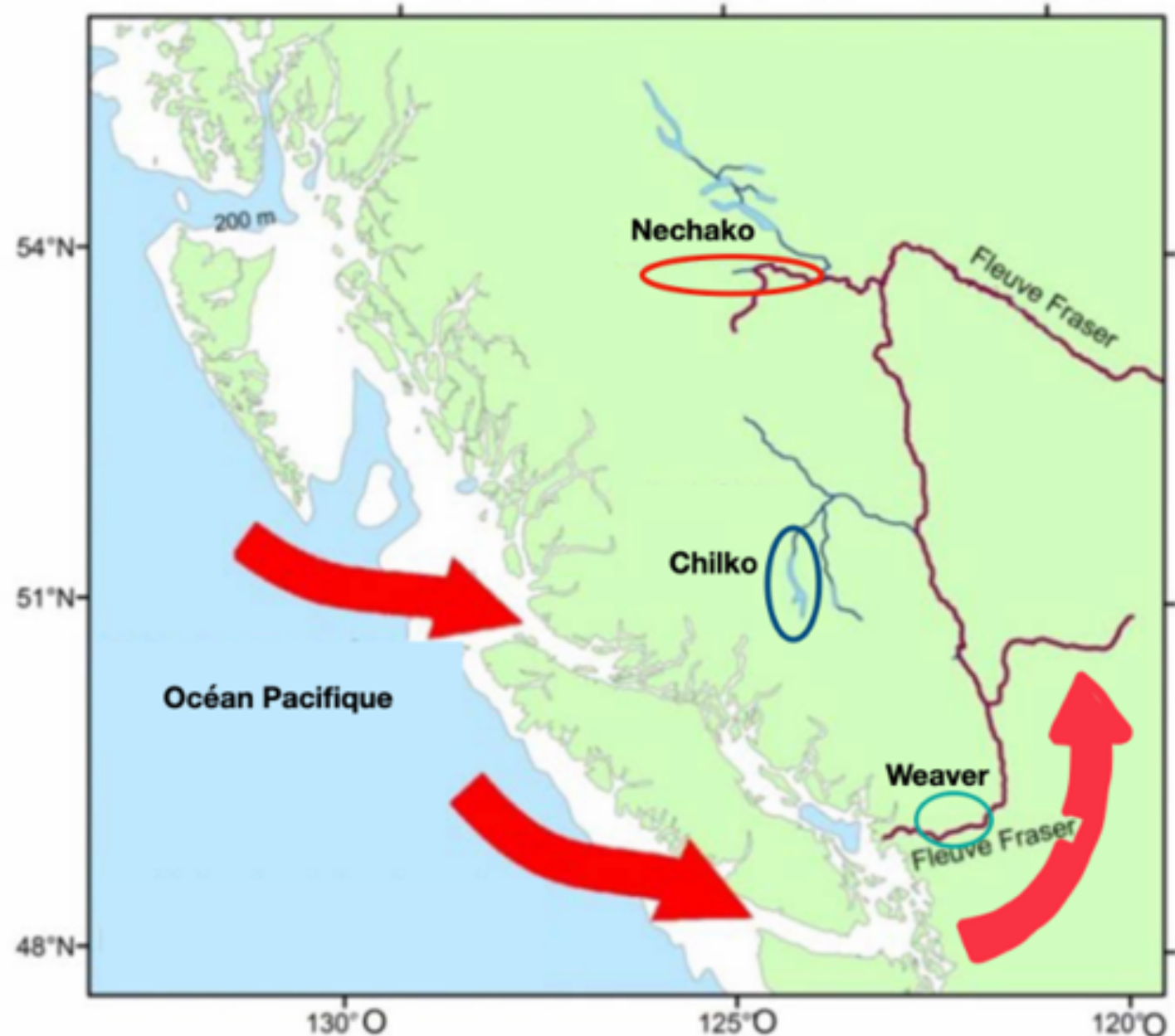
Nagent plusieurs semaines contre le courant du fleuve à des vitesses de 20 à 40 km.jour⁻¹.

L'alimentation cesse : période de stress physiologique, forte demande d'O₂.

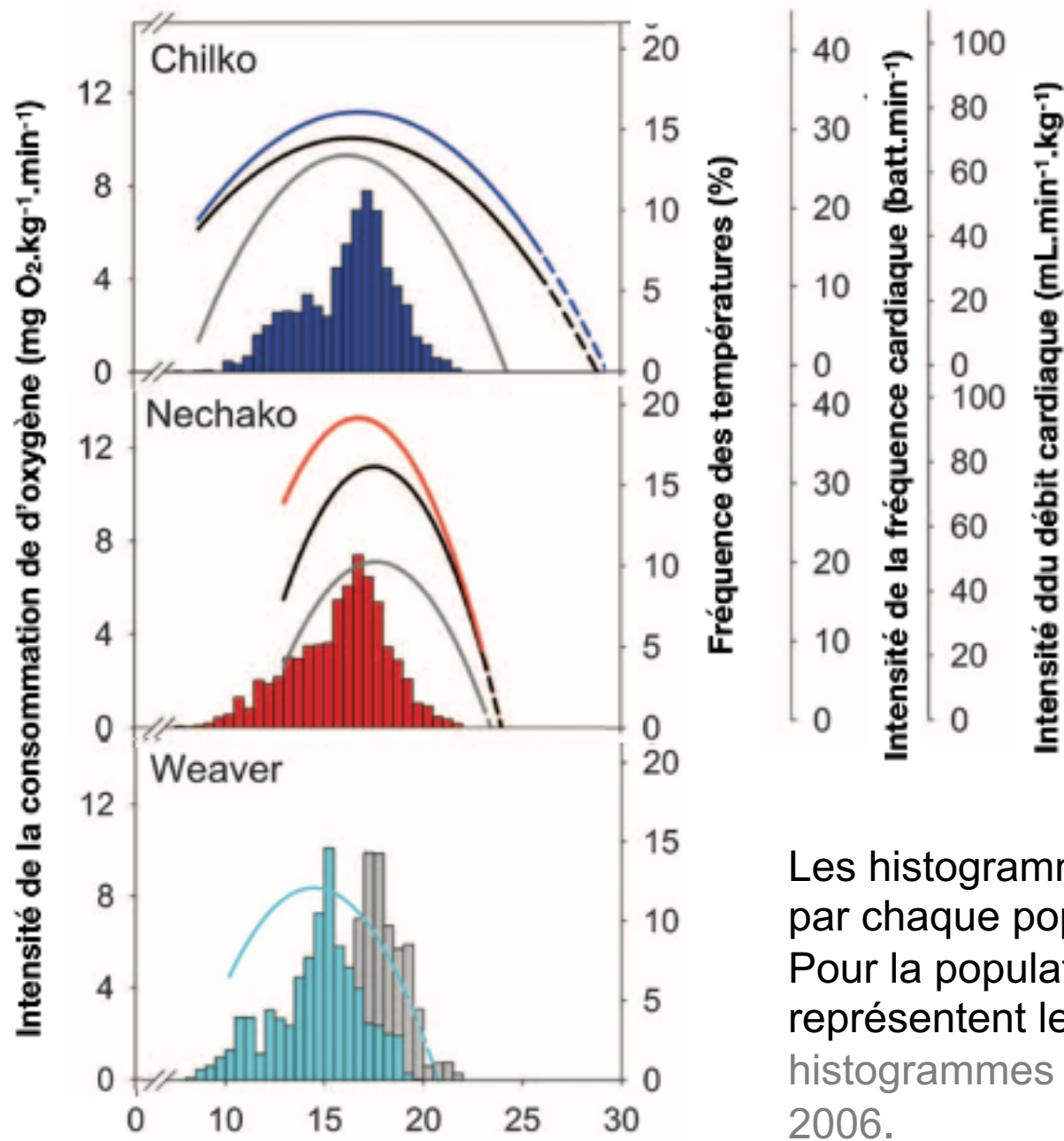
Grande fidélité vers le lieu de naissance.

Réchauffement climatique = augmentation de T → conditions létales pour certains saumons.

Dans le fleuve Fraser, forte augmentation de la mortalité des saumons Sockeye de la population Weaver par rapport aux saumons des populations Nechako et Chilko.



Comparaison des paramètres cardiovasculaires et respiratoires des saumons issus de différentes populations



On compare la consommation de dioxygène, le débit cardiaque et la fréquence cardiaque de saumons issus de différentes populations. L'intensité des paramètres étudiés est exprimée comme la différence entre la valeur maximale obtenue et la valeur du paramètre au repos.

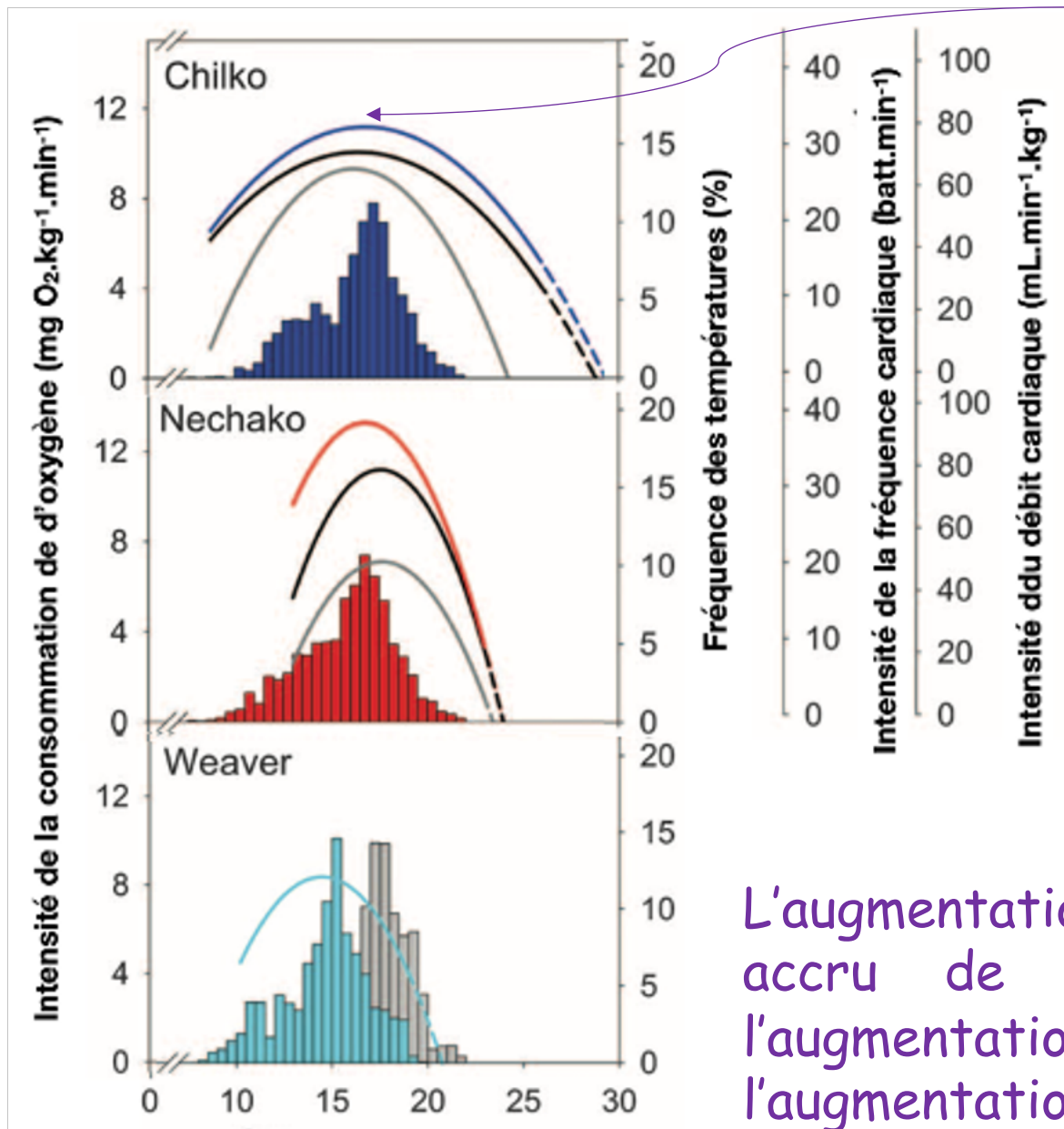
Document 6 : Étude de différents paramètres cardiovasculaires en fonction de la température de l'eau. Courbe de couleur : amplitude de la consommation de dioxygène

Courbe noire : amplitude du débit cardiaque

Courbe grise : amplitude de la fréquence cardiaque

Les histogrammes indiquent les fréquences de température rencontrées par chaque population au cours de leur migration entre 1995 et 2008. Pour la population « Weaver », les **histogrammes turquoise** représentent les **températures rencontrées avant 2000**, les histogrammes gris représentent les températures rencontrées après 2006.

5a- En mettant en relation les températures rencontrées au cours de la migration et l'intensité de la consommation en dioxygène (Document. 6), expliquez le taux de survie plus important des saumons Chilko et le taux de mortalité plus élevé des saumons Weaver



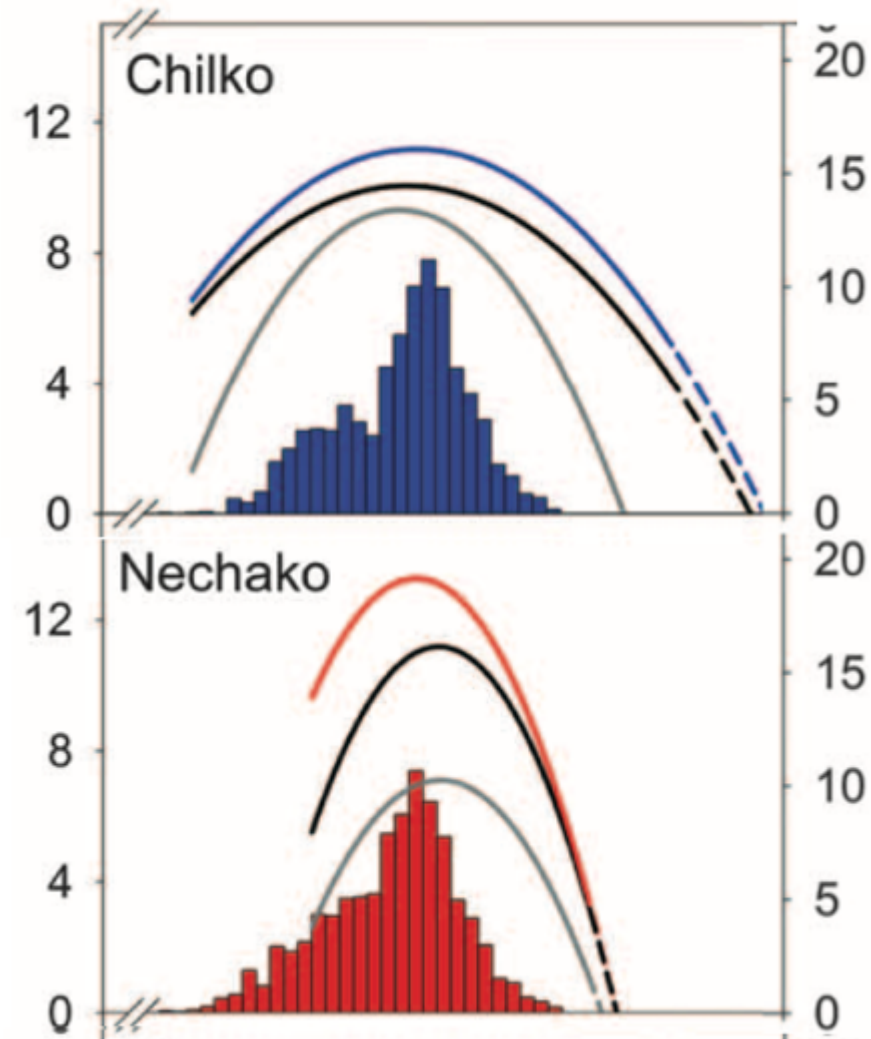
L'optimum de consommation d'O₂ est atteint pour la température la plus fréquemment rencontrée au cours de la migration. Courbe plus évasée que les autres saumons donc intervalle de tolérance thermique plus important

→ Explique leur meilleure survie face aux augmentations de températures

La forte mortalité des saumons Weaver peut s'expliquer par l'augmentation des températures : déplacement des saumons dans des eaux plus chaudes qui ne correspondent plus aux températures optimales.

L'augmentation de l'activité cardiaque nécessite un apport accru de dioxygène au muscle cardiaque. De plus, l'augmentation de l'activité cardiaque participe à l'augmentation de la perfusion des organes en O₂

5b- Pour les saumons Chilko et Nechako, proposez des explications aux relations observées entre fréquence cardiaque, débit cardiaque et consommation de dioxygène.



Courbe de couleur : amplitude de la consommation de dioxygène
Courbe noire : amplitude du débit cardiaque
Courbe grise : amplitude de la fréquence cardiaque

Saumons Chilko : la fréquence cardiaque diminue dès une faible augmentation de température alors que la diminution du débit cardiaque est plus progressive. La baisse du débit cardiaque est donc compensée par une augmentation du volume d'éjection systolique.

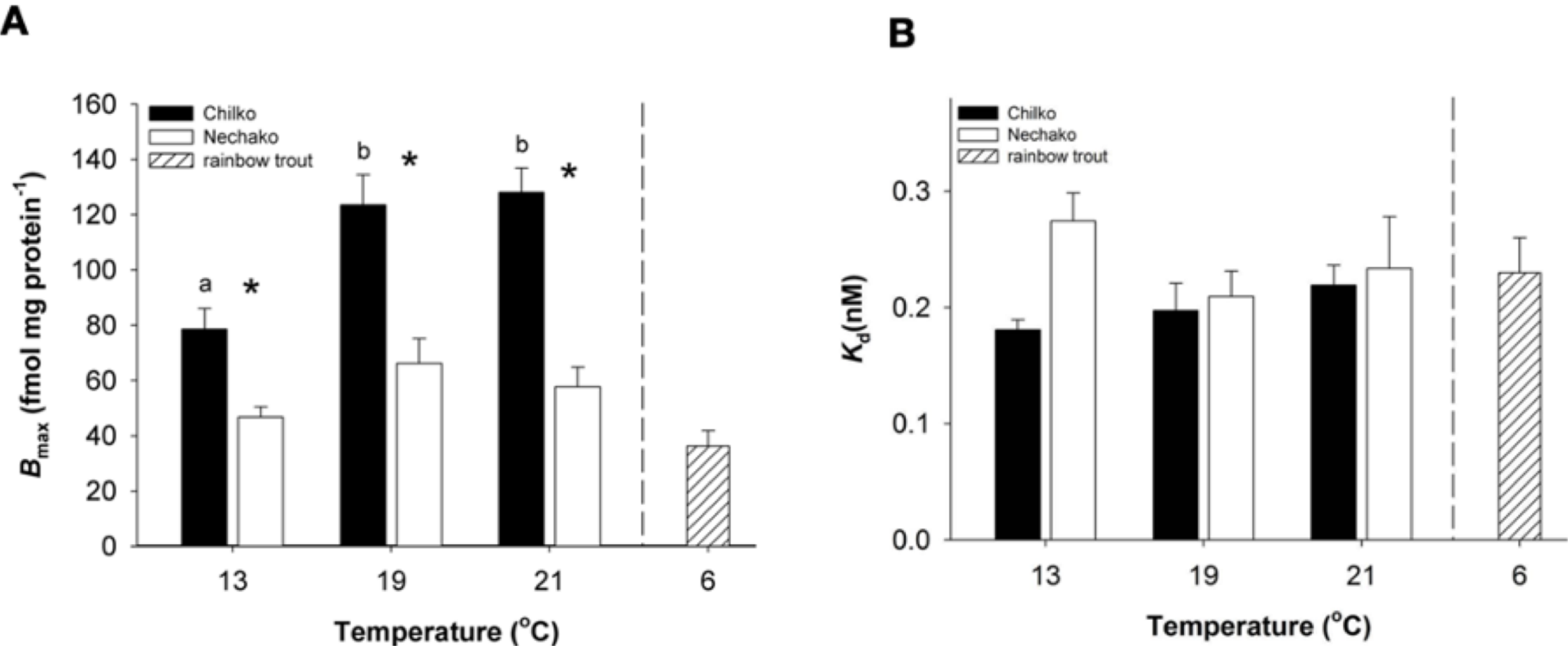
Saumons Nechako : courbes du débit cardiaque et de la fréquence cardiaque assez proches → la variation de débit cardiaque dépend essentiellement de la variation de fréquence cardiaque (rappel : débit cardiaque = Fréquence cardiaque x Volume d'éjection systolique)

c) Explication moléculaire des différences d'activités cardiaques.

Document 7 : Comparaison du contrôle par l'adrénaline

A- Étude de la densité des récepteurs β adrénergiques chez deux populations de saumons. La truite arc-en-ciel élevée dans des eaux à 6°C est utilisée comme témoin permettant de vérifier le bon fonctionnement de l'expérience.

B- Étude de l'affinité de récepteurs β adrénergiques chez deux populations de saumon.



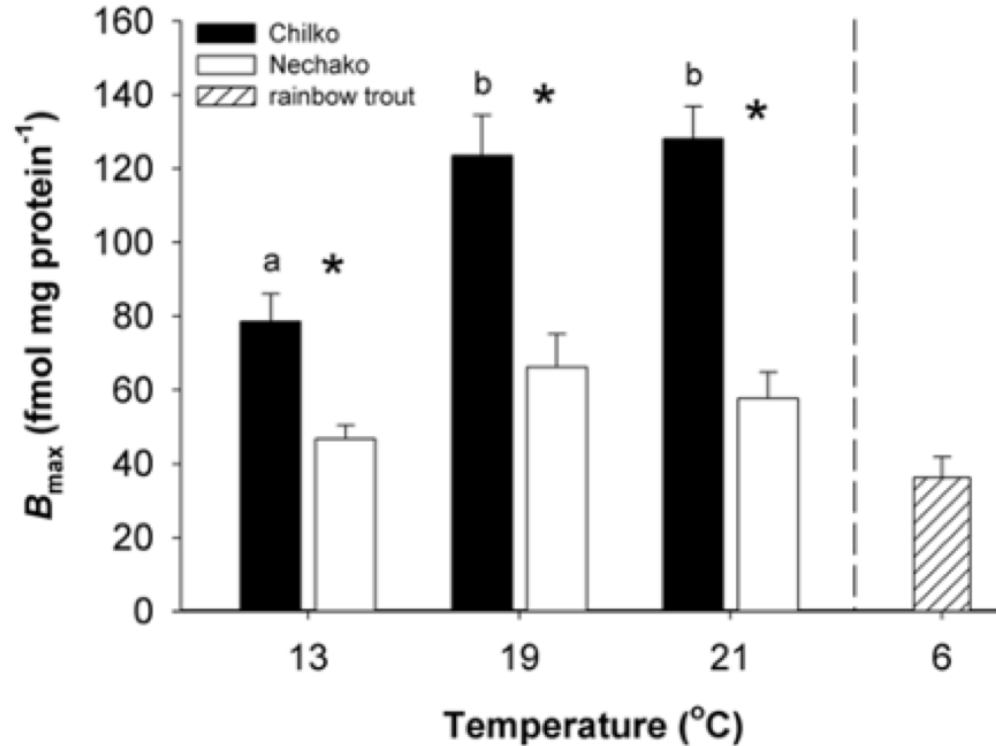
6 - Interprétez le document 7 pour expliquer l'origine des différences d'activité cardiaque observées entre les saumons Chilko et Nechako.

Document 7 : Comparaison du contrôle par l'adrénaline

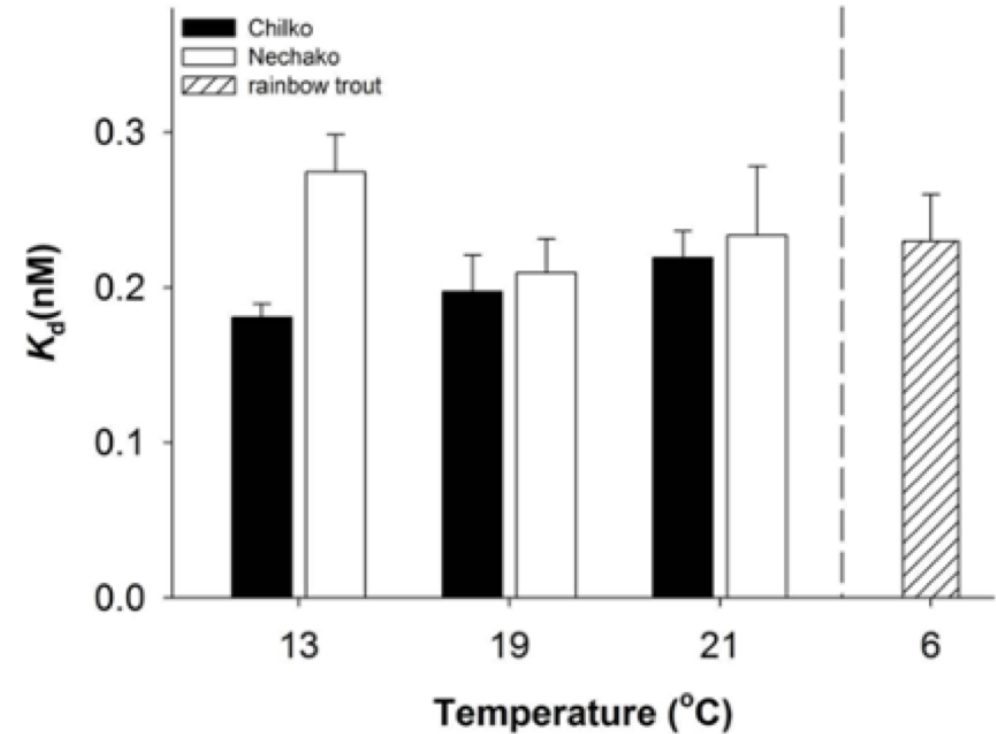
A- Étude de la densité des récepteurs β adrénergiques chez deux populations de saumons. La truite arc-en-ciel élevée dans des eaux à 6°C est utilisée comme témoin permettant de vérifier le bon fonctionnement de l'expérience.

B- Étude de l'affinité de récepteurs β adrénergiques chez deux populations de saumon.

A



B



Chez les saumons Chilko, on observe une augmentation de la densité des récepteurs β adrénergiques avec l'augmentation de température

A 19 et 21 °C, l'affinité des récepteurs est la même pour les deux types de saumons.

L'augmentation de la densité des récepteurs β adrénergiques est donc une réponse à l'augmentation de température.

Ceci peut expliquer le maintien d'une activité cardiaque suffisante permettant d'alimenter efficacement les tissus en dioxygène.

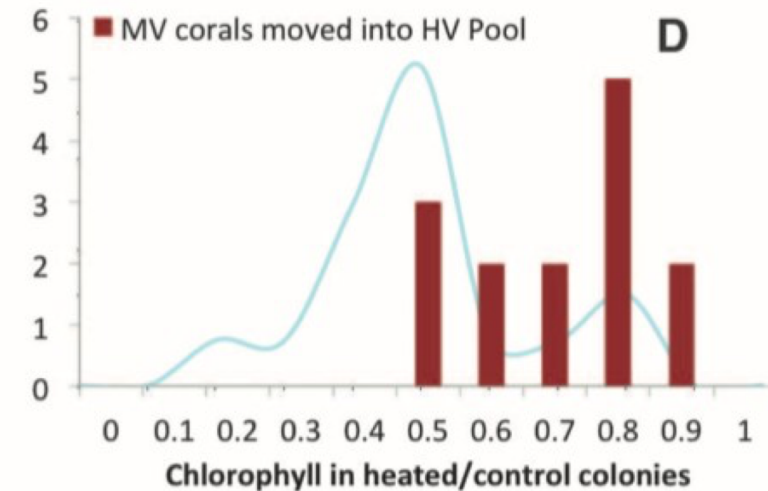
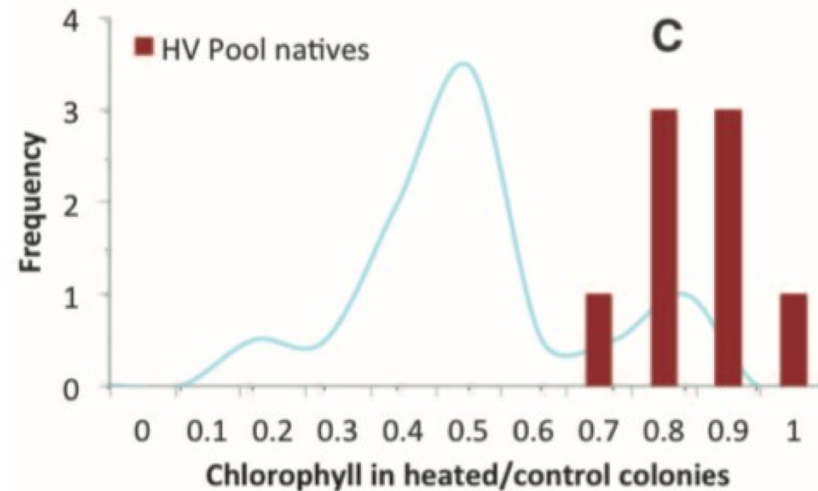
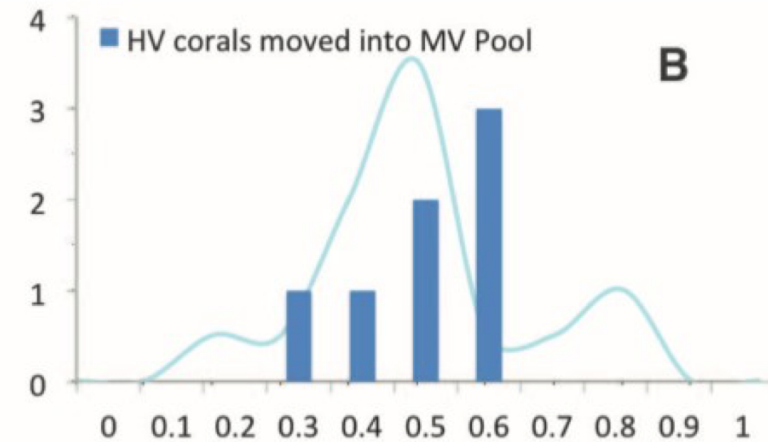
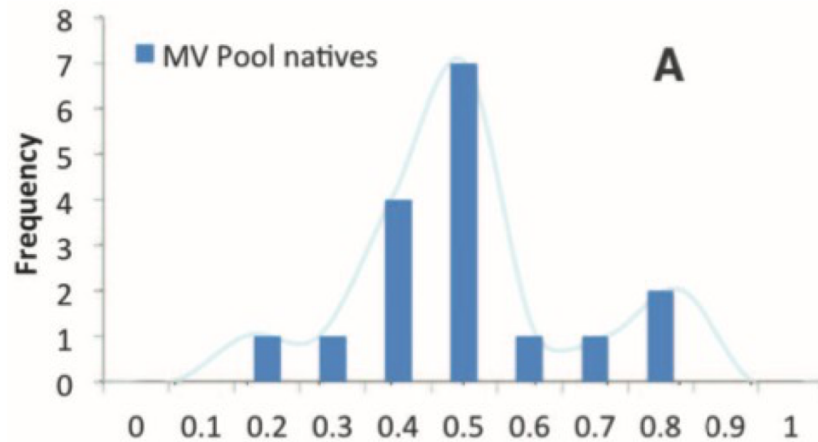
La mortalité accrue des saumons Weaver s'explique par l'incapacité à maintenir une activité cardiaque suffisante lors de l'augmentation de température.

2- Les modifications phénotypiques en réponse au changement climatique : adaptation ou acclimatation ?

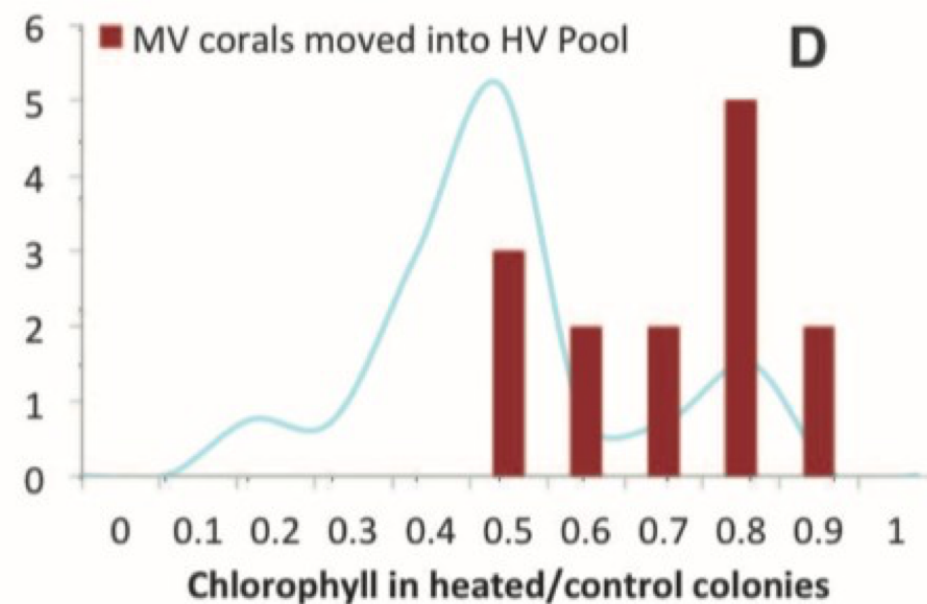
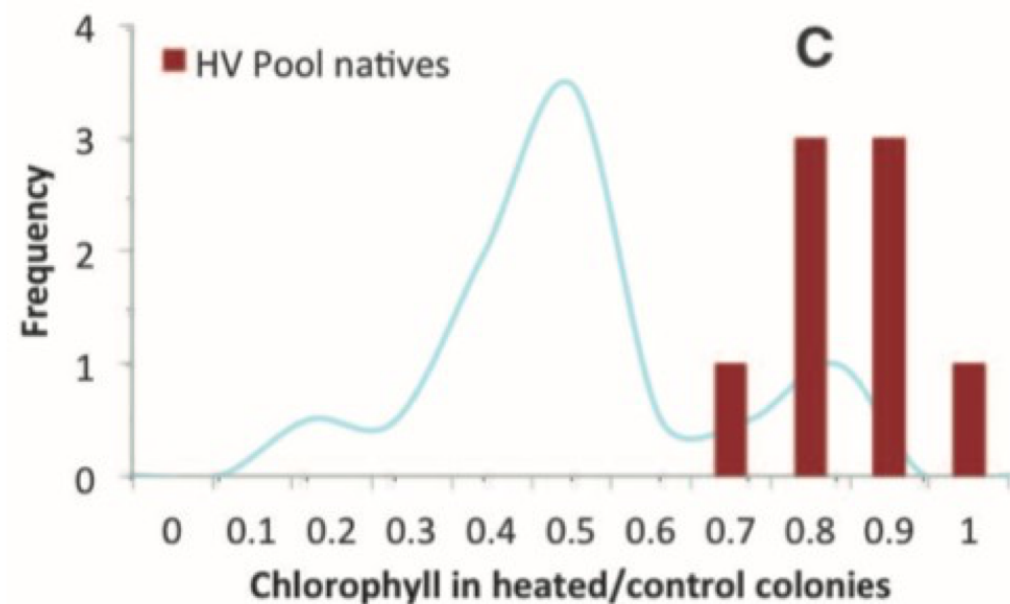
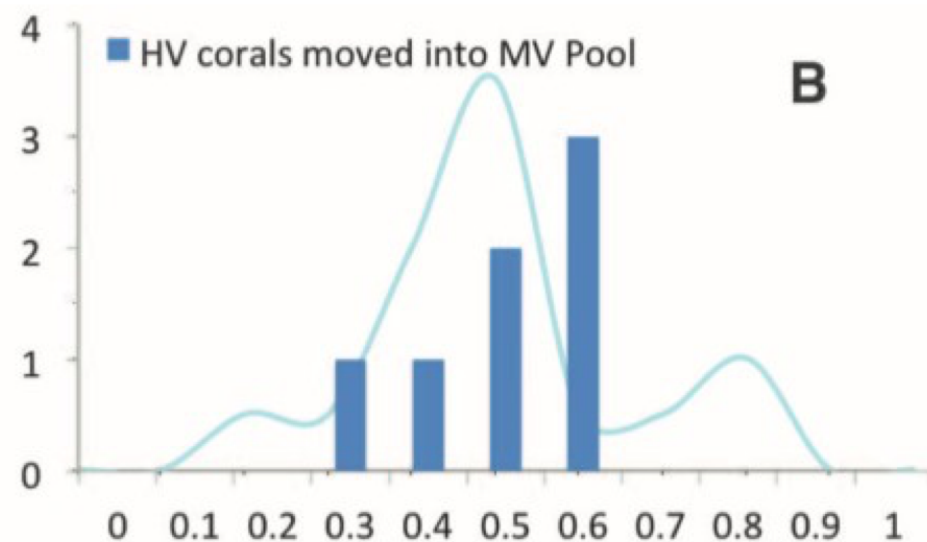
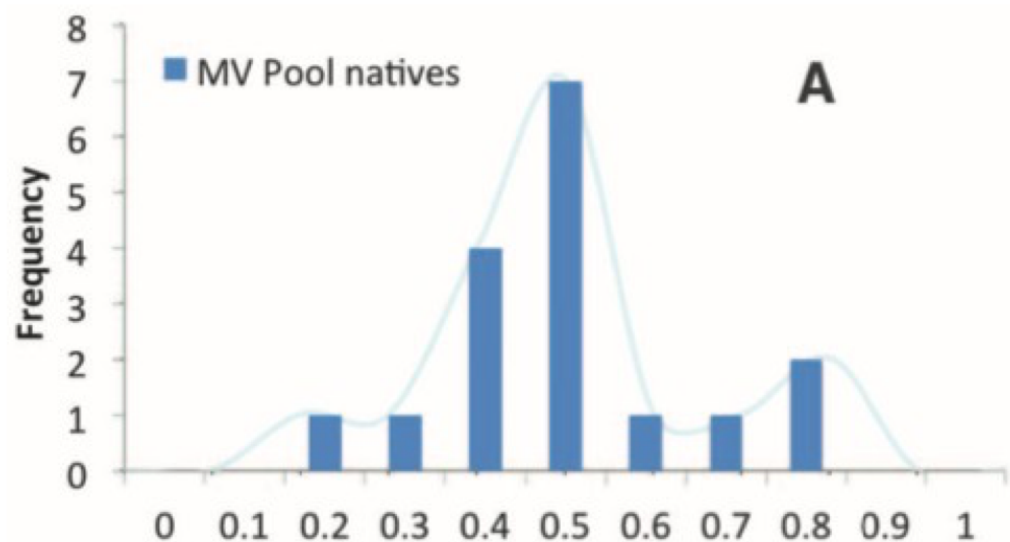
Document 8 : coraux et blanchiment

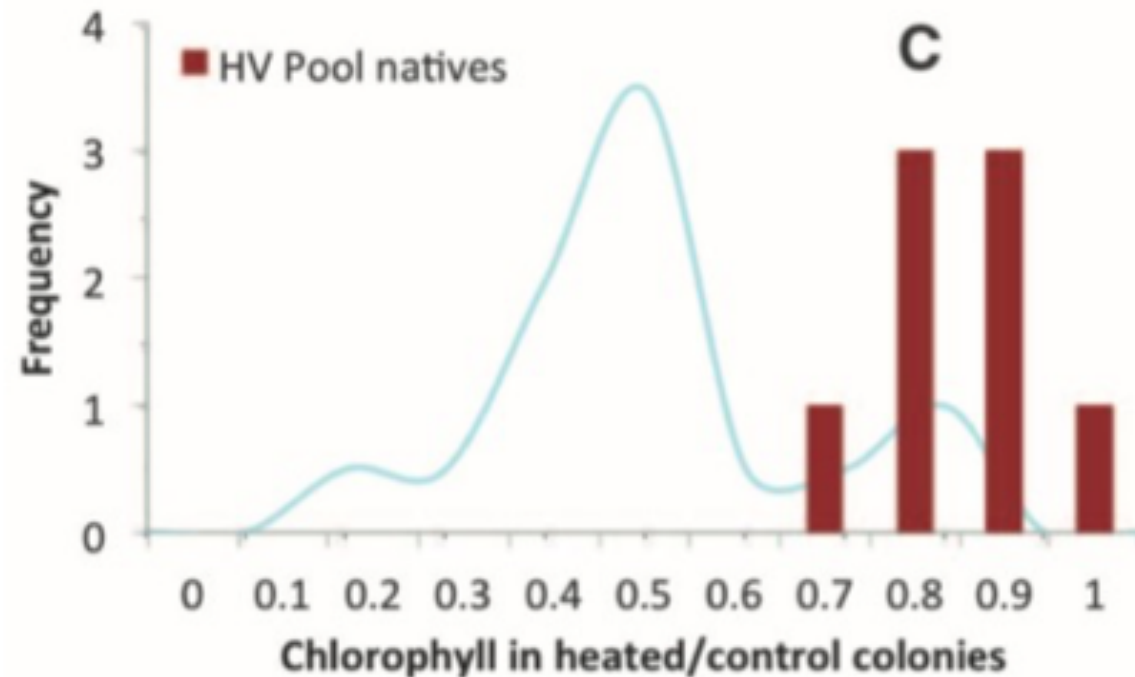
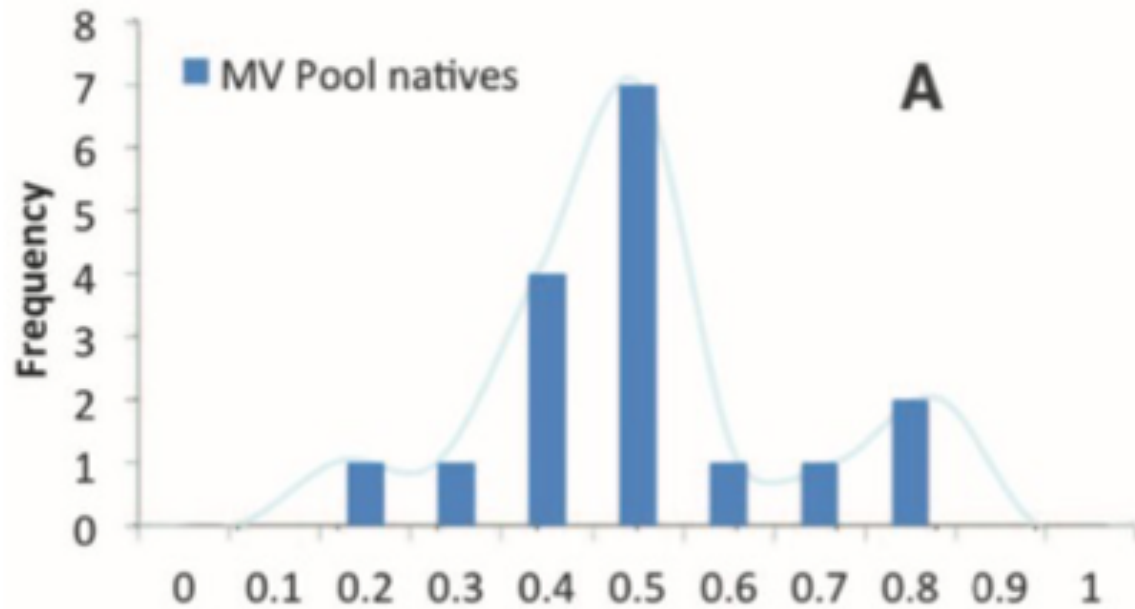
Gauche : on a soumis des coraux des deux milieux à des températures élevées, susceptibles de provoquer un blanchissement. On mesure la proportion de chlorophylle résiduelle après blanchiment, et on indique la distribution pour chaque catégorie. A : coraux provenant du milieu moyennement variable ; C : coraux provenant du milieu hautement variable.

Droite : on transplante les coraux issus du milieu HV dans un milieu MV (B), ou issus d'un milieu MV dans un milieu HV (D), puis on réalise après 12 mois une expérience de blanchiment, et on fait les mêmes mesures qu'en A et C.



7-Analysez les expériences de blanchiment. Proposez des hypothèses expliquant les effets déterminés.





Observation : en A, la moyenne est proche de 0,5 les coraux subissent un blanchiment de 50 % à l'échelle de la population, alors qu'en C elle est de 0,85, soit un blanchiment de 85 %.

Interprétation : on en déduit que les coraux issus d'un milieu HV sont plus résistants au blanchiment que les coraux issus d'un milieu MV.

- 7- Proposez des hypothèses expliquant les effets déterminés.

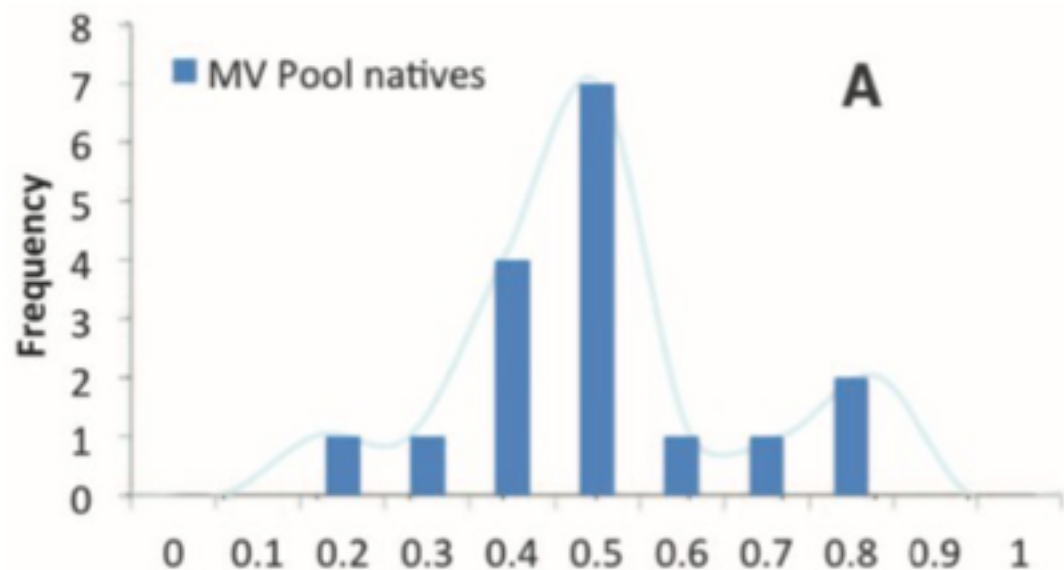
On peut faire l'hypothèse que les coraux HV sont plus adaptés aux hautes températures que les coraux MV, c'est-à-dire qu'ils ont des gènes (plus vraisemblablement des allèles) de résistance aux hautes températures que n'ont pas les coraux MV. Cette adaptation aurait été acquise au cours de l'évolution, par sélection naturelle.

Mais on peut également supposer que les coraux HV auraient une capacité d'acclimatation/accommodation plus importante que les coraux MV. Leur meilleure résistance traduirait alors une meilleure capacité à modifier leur phénotype et résister ainsi aux hautes températures.

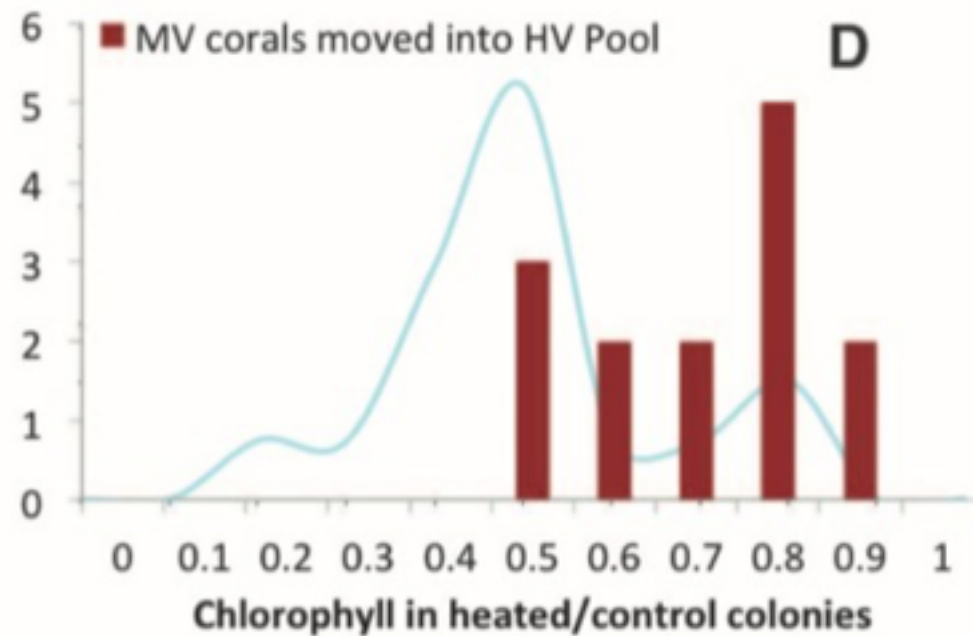
On va analyser les expériences B et D, en les comparant à C et A.

Analyse du protocole : en transplantant les coraux pendant 12 mois en dehors de leur milieu d'origine, on **cherche à tester leur capacité d'accommodation/acclimatation**, et non leur capacité d'**adaptation**, en raison du temps court (seulement 12 mois).

On compare A à D : on teste l'impact du changement de milieu sur l'acclimatation des coraux MV



Gauche : on a soumis des coraux des deux milieux à des températures élevées, susceptibles de provoquer un blanchissement.

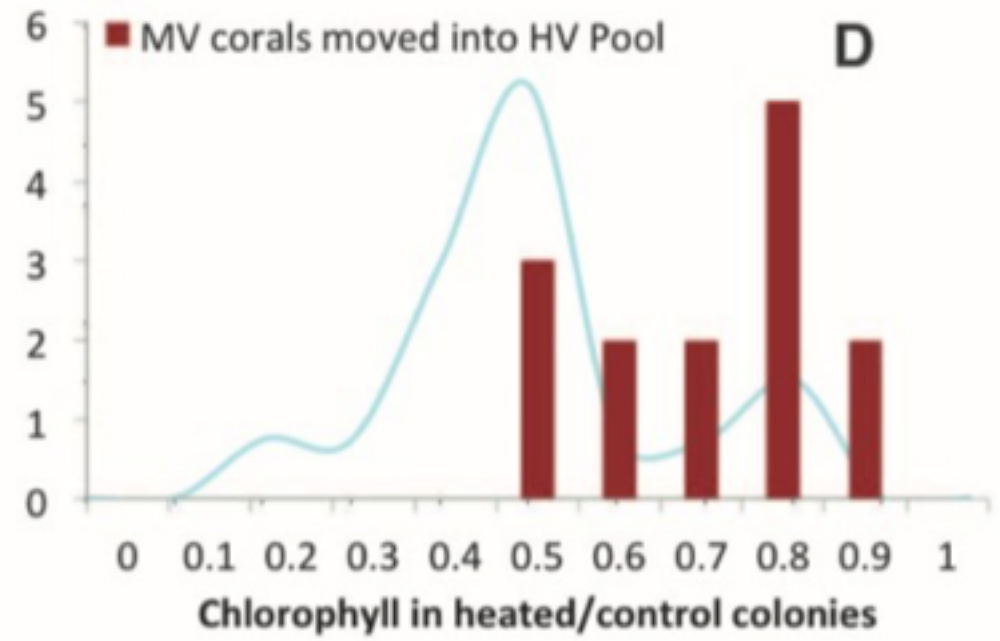
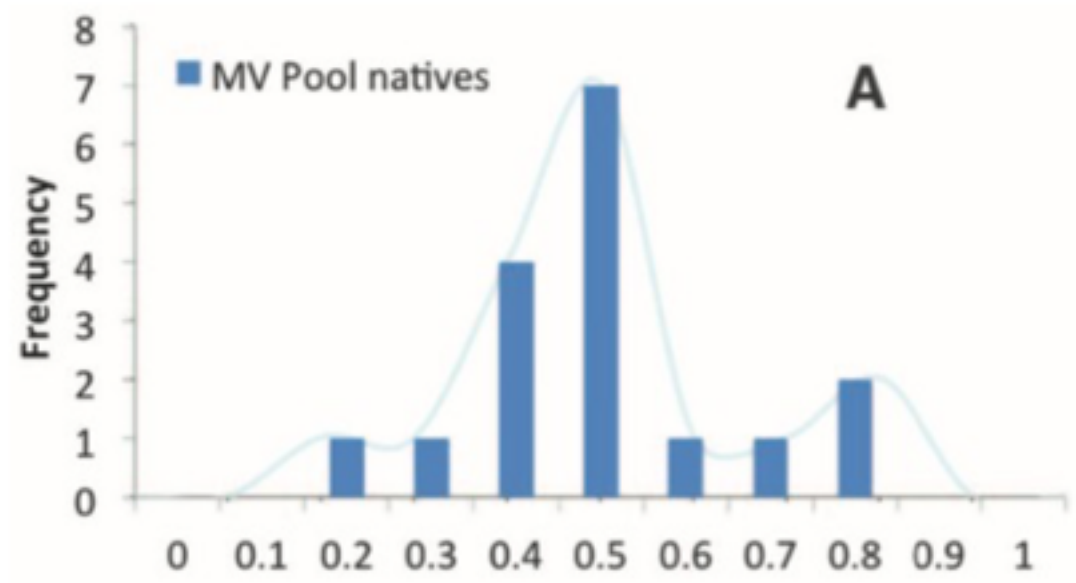


Droite: on transplante les coraux issus du milieu MV dans un milieu HV (B) puis on réalise après 12 mois une expérience de blanchiment

On analyse les expérience B et D, en les comparant à C et A.

Analyse du protocole : en transplantant les coraux pendant 12 mois en dehors de leur milieu d'origine, on **cherche à tester leur capacité d'accommodation/acclimatation**, et non leur capacité d'adaptation, en raison du temps court (seulement 12 mois).

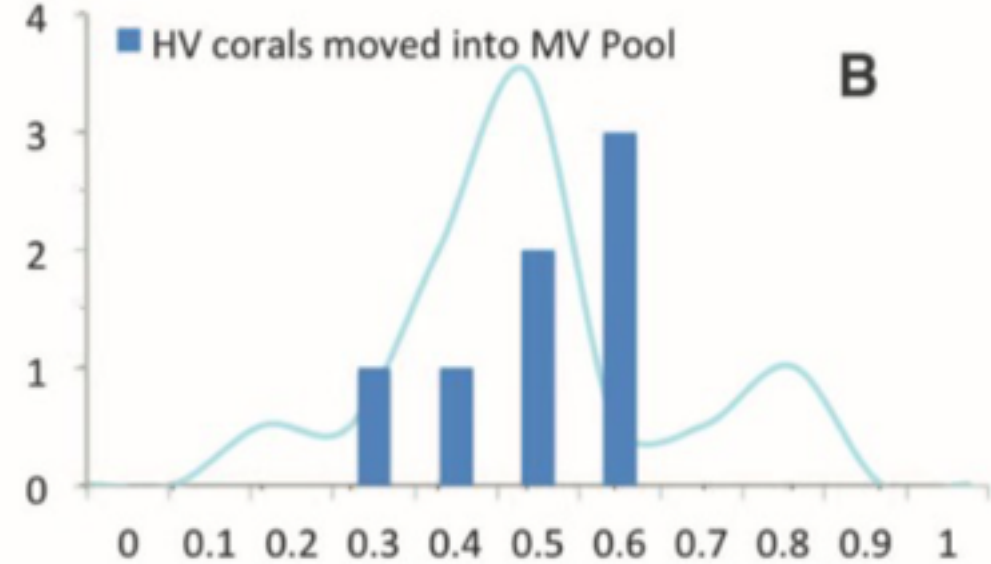
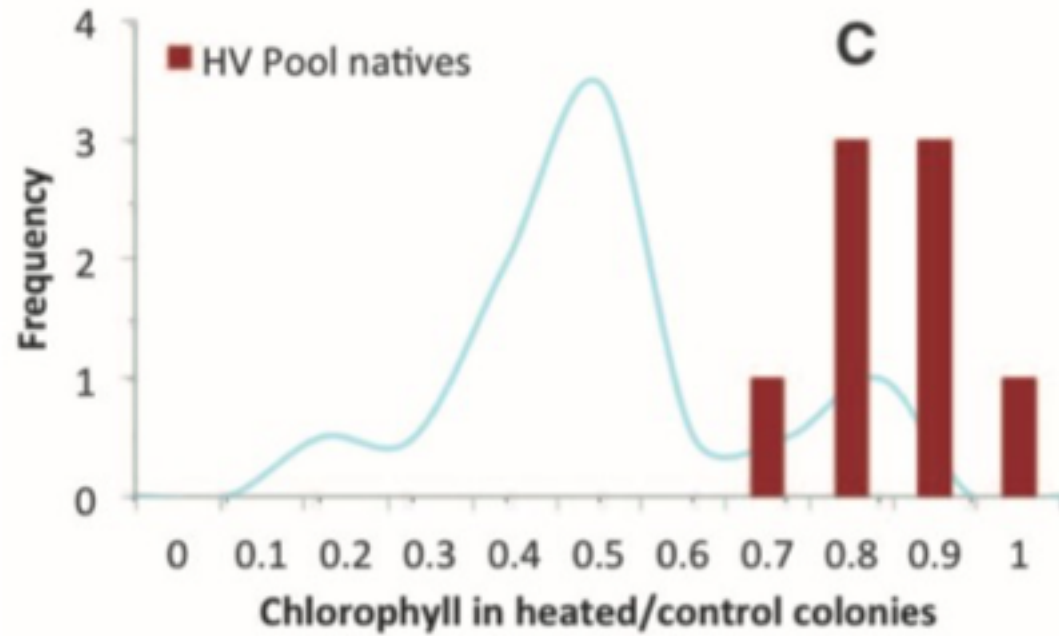
On compare A à D : on teste l'impact du changement de milieu sur l'acclimatation des coraux MV



Observation : les coraux **MV** sont plus résistants au blanchiment (D : 80 % de résistance) après 12 mois passés dans le milieu HV par rapport aux coraux témoins (A : 50 % de résistance).

Interprétation : **les coraux MV se sont donc acclimatés au milieu HV.**

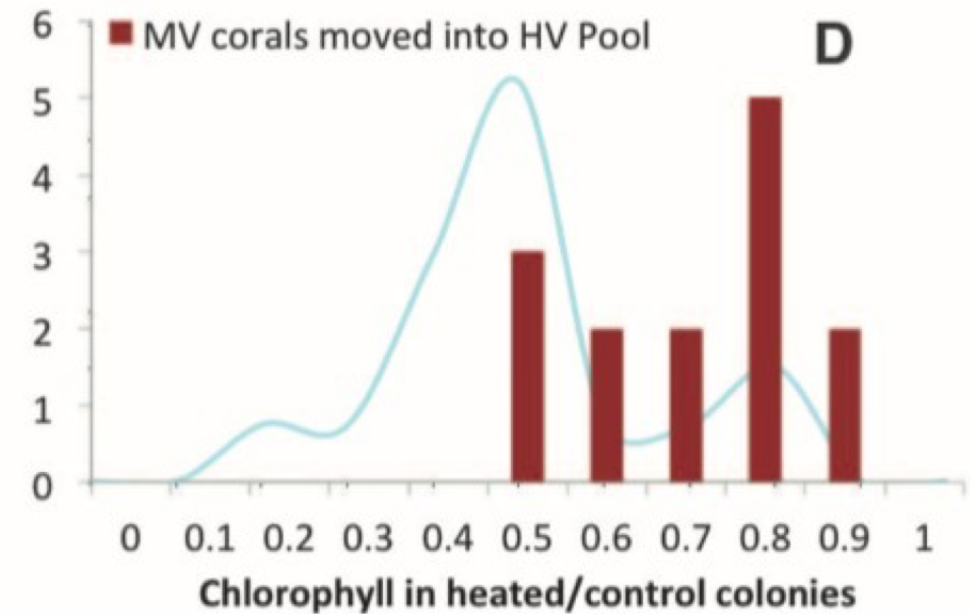
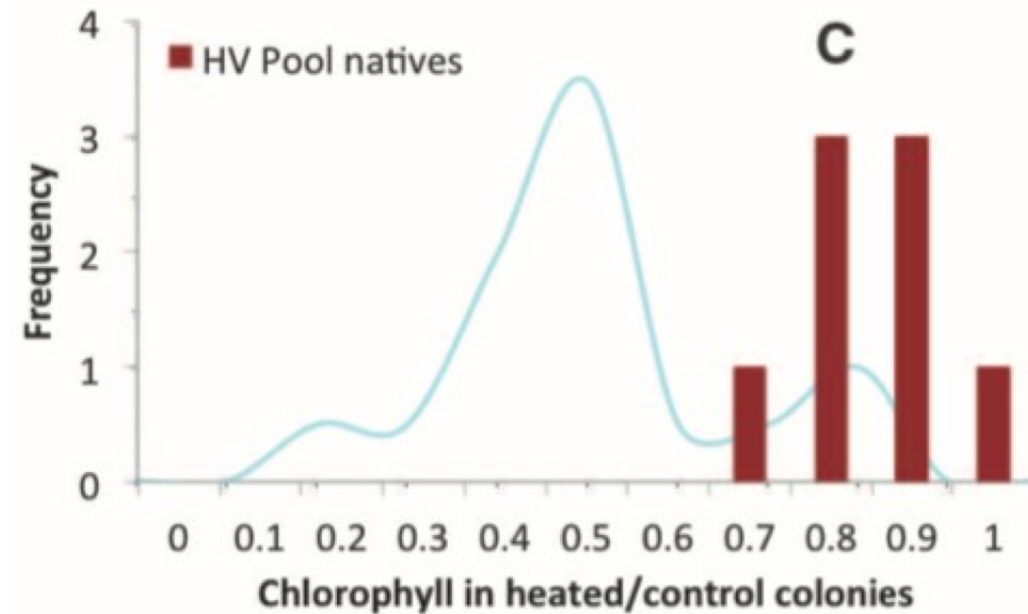
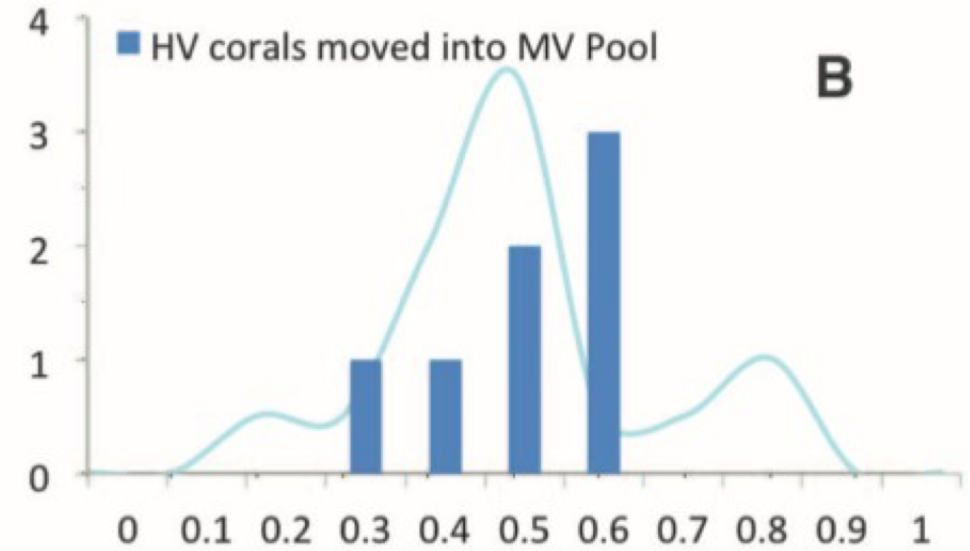
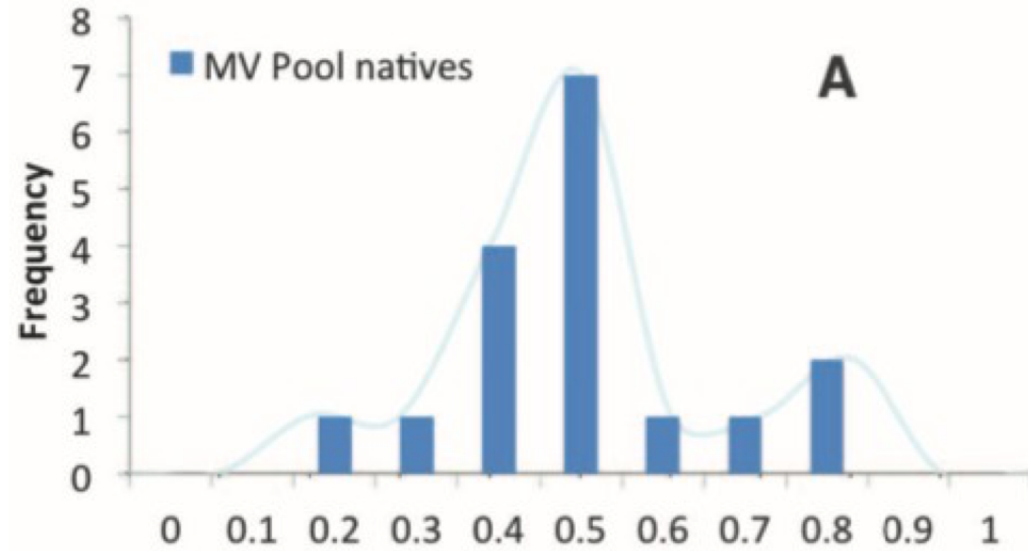
On compare C à B : on teste l'impact du changement de milieu sur la perte d'acclimatation des coraux HV



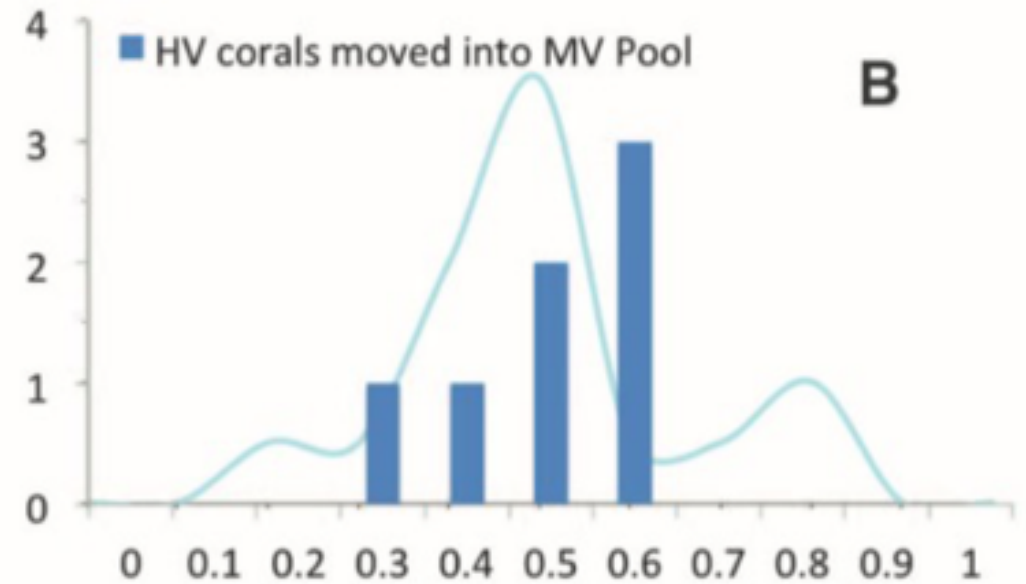
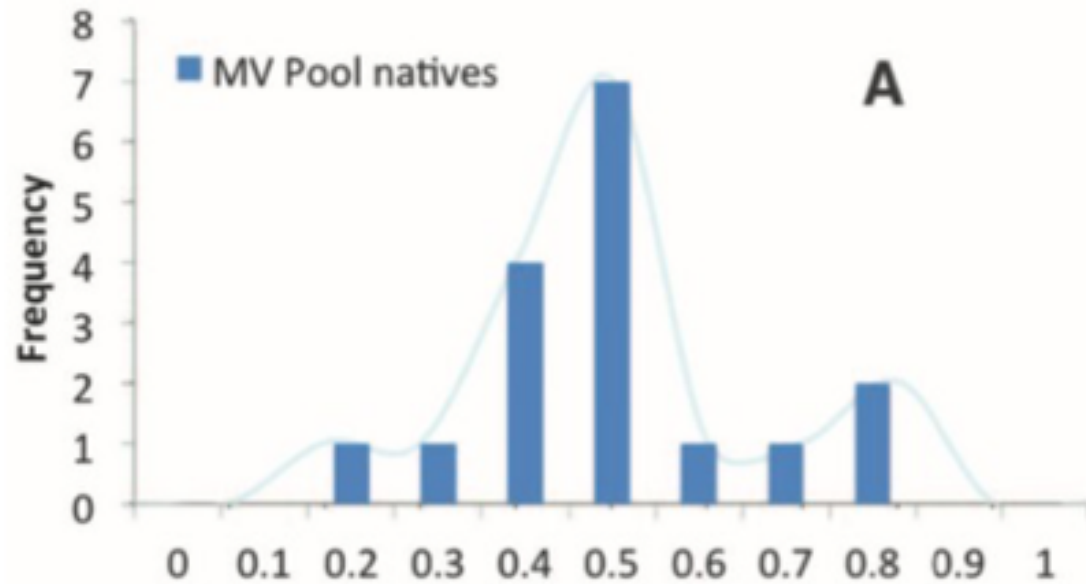
Observation : les coraux HV sont moins résistants au blanchiment (B : 50 % de résistance) après 12 mois passés dans le milieu MV par rapport aux coraux témoins (C : 85 % de résistance).

Interprétation : les coraux HV se sont donc acclimatés au milieu MV, c'est-à-dire qu'ils ont perdu leur capacité acquise résister aux hautes températures.

Enfin, on peut comparer les expériences A et B d'une part, et C et D d'autre part.

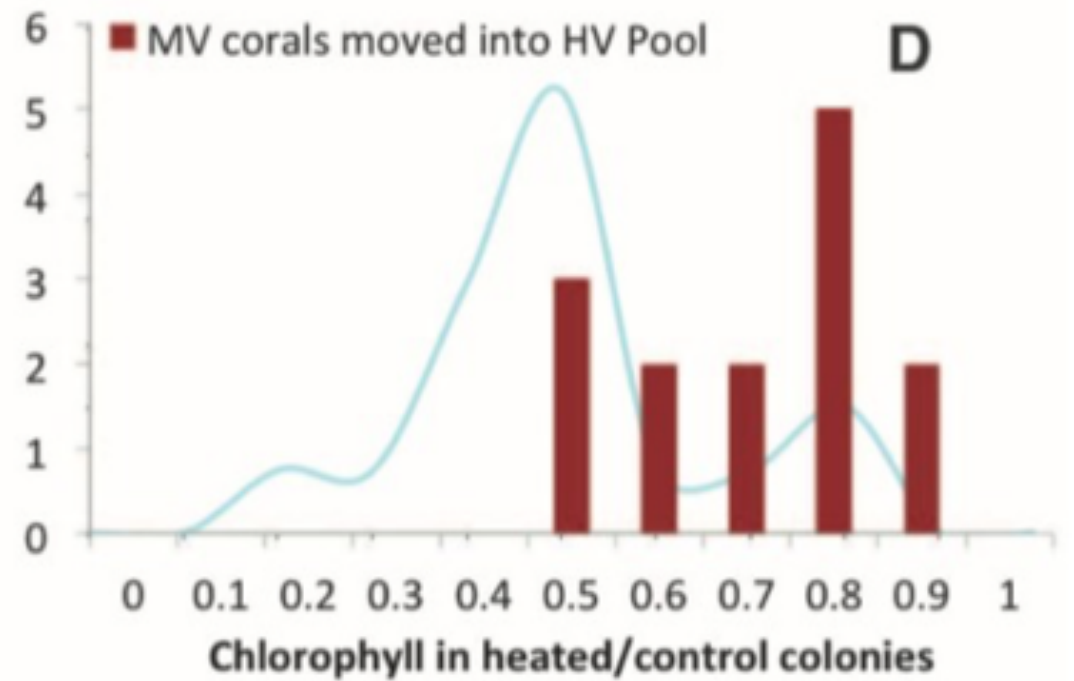
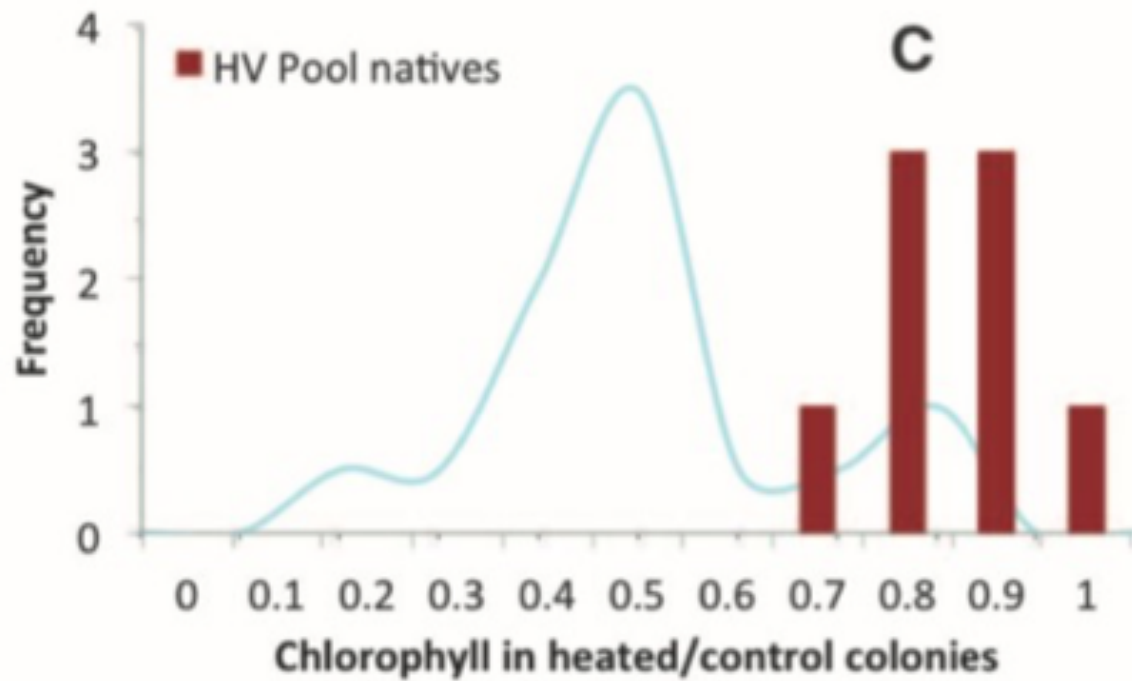


Enfin, on peut comparer les expériences A et B d'une part, et C et D d'autre part.



Observation : les coraux ont une capacité de résistance (50-60 %) assez proche quand ils se développent dans un milieu MV, quelle que soit leur origine.

Interprétation : c'est le milieu de vie, et non pas l'origine qui détermine la résistance. **L'acclimatation est donc de loin le paramètre le plus important dans la résistance (du moins pour le milieu MV).**



Observation : les coraux HV résistent globalement mieux (C : 85 %) que les coraux MV acclimatés au milieu HV (D : 80 %).

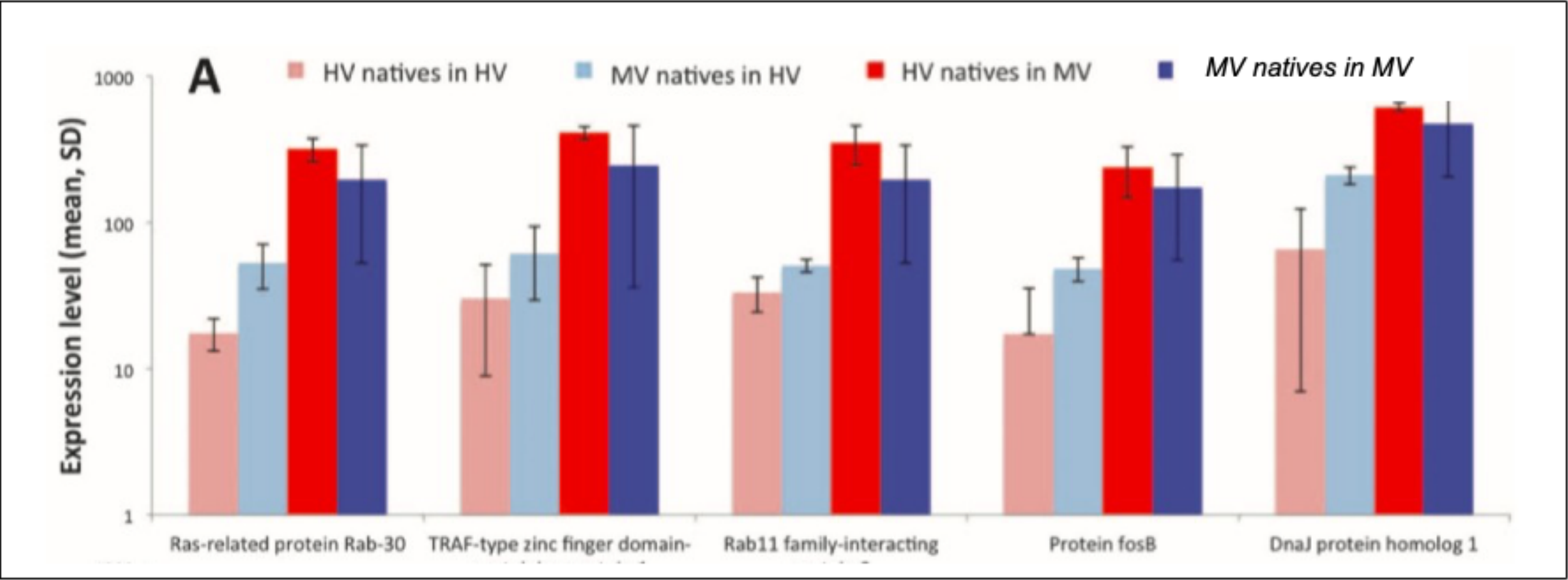
Interprétation : **le milieu de vie provoque une acclimatation mais elle n'est pas suffisante pour expliquer la résistance des coraux HV. Les coraux HV ont donc bien, en plus, des adaptations au milieu HV, qui leur permettent de mieux résister.**

Critique :

Le faible nombre d'individus étudiés rend ces conclusions discutables (pour A, B, C et D, respectivement 17,7, 8 et 12 individus) ;

Il faudrait soit étayer ces résultats par un test statistique non paramétrique, assorti d'un calcul d'un niveau de confiance, soit (surtout !) augmenter le nombre de répétitions de la même expérience.

Document 9 : On mesure l'expression de 5 gènes chez des coraux HV (1^{ère} barre) ou MV (2^{ème} barre) non transplantés, chez des HV transplanté en milieu MV (3^{ème} barre), ou chez des MV transplantés en milieu HV (4^{ème} barre).



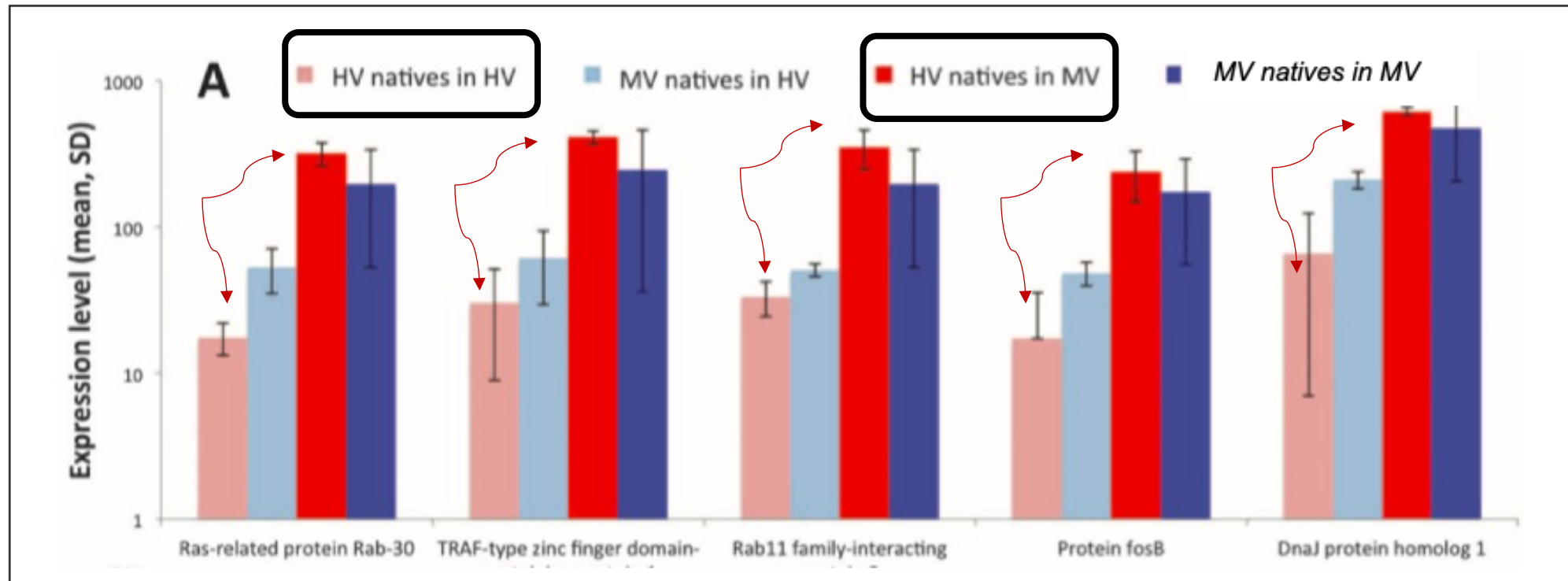
8 - Que nous apporte cette expérience ? En quoi permet-elle d'apporter un éclairage quant aux hypothèses formulées précédemment ?

Analyse du protocole expérimental : on mesure l'expression de 5 gènes dans les 4 situations présentées dans le document précédent.

Une acclimatation devrait se traduire par une modification de l'expression lors du transfert de milieu (comparaison des colonnes 1 et 3, et 2 et 4) ;

Une adaptation devrait se traduire par une modification de l'expression génétique entre coraux issus de milieux différents (comparaison des colonnes 1 et 2, et 3 et 4).

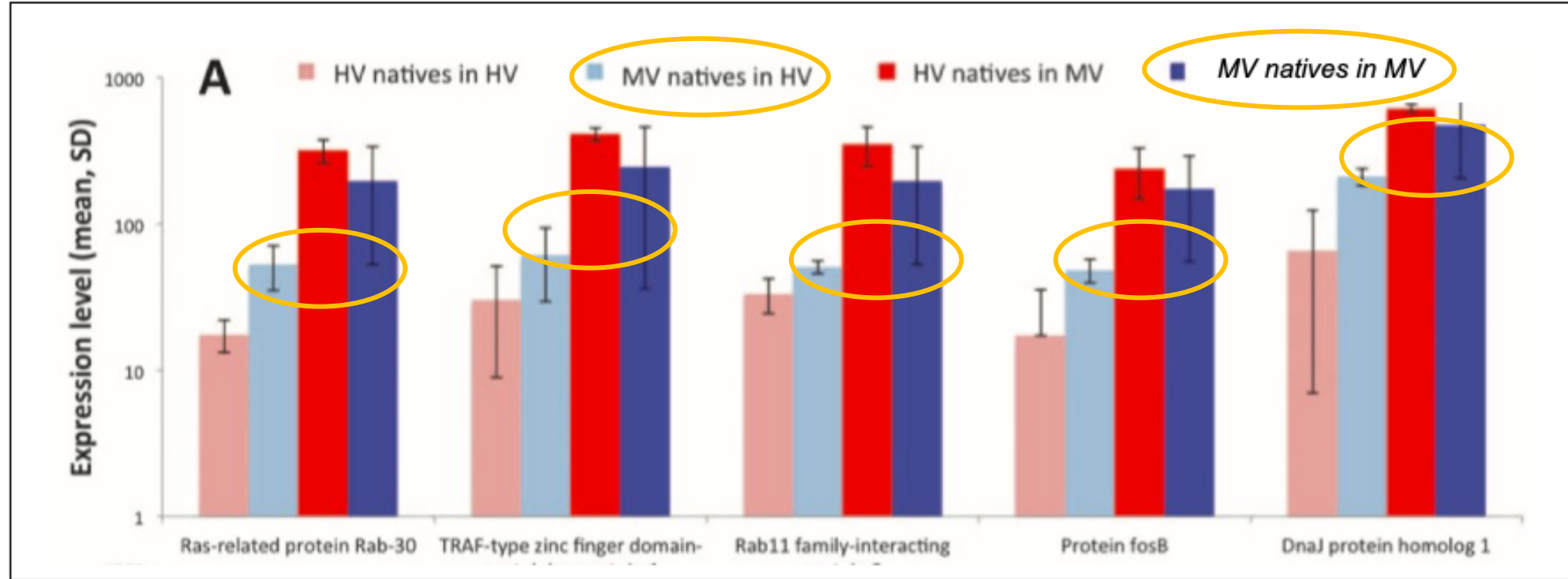
Document 9 : On mesure l'expression de 5 gènes chez des coraux HV (1^{ère} barre) ou MV (2^{ème} barre) non transplantés, chez des HV transplanté en milieu MV (3^{ème} barre), ou chez des MV transplantés en milieu HV (4^{ème} barre).



Observations : pour les coraux HV, on observe une augmentation de l'expression lors du passage du milieu HV au milieu MV.

Interprétation : la baisse de résistance de ces coraux lors du passage au milieu MV est donc une acclimatation

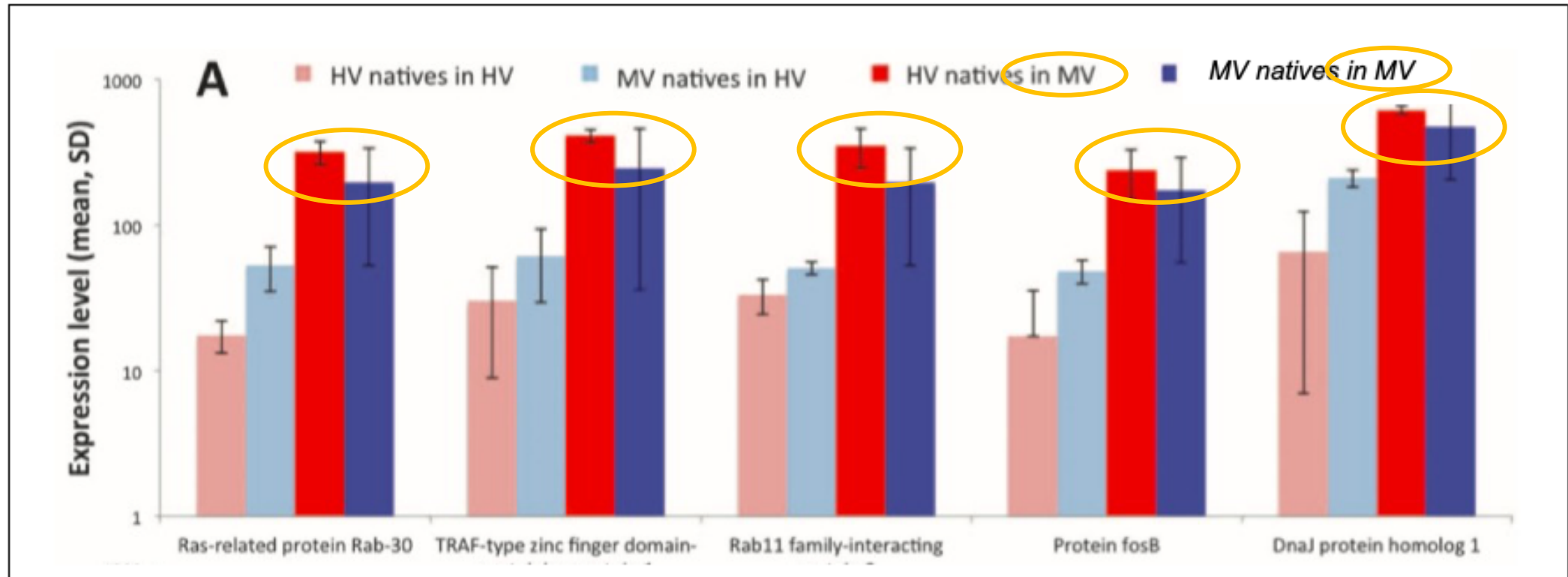
Document 9 : On mesure l'expression de 5 gènes chez des coraux HV (1^{ère} barre) ou MV (2^{ème} barre) non transplantés, chez des HV transplanté en milieu MV (3^{ème} barre), ou chez des MV transplantés en milieu HV (4^{ème} barre).



Observations : pour les coraux MV, on n'observe pas de variation significative de l'expression lors du passage du milieu HV au milieu MV.

Interprétation : on ne peut pas mettre en évidence d'acclimatation pour les gènes considérés, pour les coraux MV.

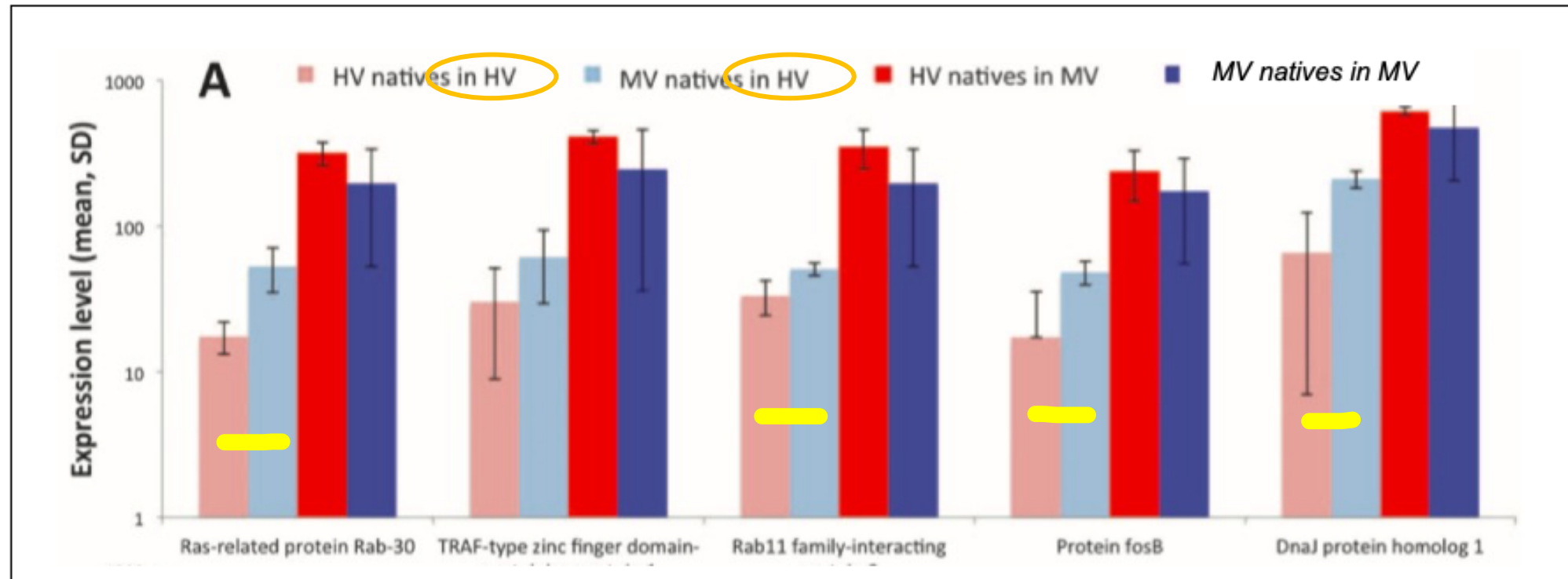
Document 9 : On mesure l'expression de 5 gènes chez des coraux HV (1^{ère} barre) ou MV (2^{ème} barre) non transplantés, chez des HV transplanté en milieu MV (3^{ème} barre), ou chez des MV transplantés en milieu HV (4^{ème} barre).



Observation : Pas de différences significatives dans l'expression de ces 5 gènes en milieu MV.

Interprétation : on ne peut donc pas mettre en évidence d'adaptations dans ce milieu.

Document 9 : On mesure l'expression de 5 gènes chez des coraux HV (1^{ère} barre) ou MV (2^{ème} barre) non transplantés, chez des HV transplanté en milieu MV (3^{ème} barre), ou chez des MV transplantés en milieu HV (4^{ème} barre).



Observations : on observe une différence significative dans l'expression de certains gènes en milieu HV (expression plus importante pour les coraux MV que pour les coraux HV, pour les gènes 1, 3, 4 et 5).

Interprétation : les différences d'expression n'existent que dans le milieu HV, ce qui signifie que les coraux HV ont la capacité à diminuer l'expression de certains gènes lorsqu'ils sont en milieu HV, ce dont les coraux MV sont incapables.

BILAN :

Les coraux HV meilleure capacité d'acclimatation que les coraux MV , une idée qui avait été évoquée dans l'analyse du tout premier document.

3- Modification des relations interspécifiques : données sur les populations d'oiseaux des îles Hawaï.

Les documents sont extraits d'une étude cherchant à préciser l'effet du changement climatique sur l'infection des oiseaux par le paludisme aviaire.

Sur l'archipel d'Hawaï, avant la colonisation par l'homme, il y avait environ **70 espèces d'oiseaux endémiques**. Il en reste aujourd'hui moins d'un tiers, dont onze sont classées en grand danger par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), et sept autres dont le **liwi rouge** comme vulnérables. Les causes de ces disparitions sont multiples : la chasse, la destruction des habitats et l'introduction de parasites ou de prédateurs de ces oiseaux.

Au début du 19^e siècle, l'**agent du paludisme aviaire** (*Plasmodium relictum*) et son vecteur, un moustique (*Culex quinquefasciatus*) ont été introduits accidentellement. Les **larves de l'insecte se développent dans les mares** où les eaux sont stagnantes. Les **espèces d'oiseaux endémiques sont beaucoup plus sensibles** au parasite que les espèces introduites, car **elles n'ont pas coévolué avec le parasite** ; pour elles une infection se révèle le plus souvent mortelle.

La **prévalence** du paludisme aviaire (pourcentage des oiseaux infectés dans l'ensemble de la population) a été déterminée grâce à des prises de sang sur des oiseaux capturés par des filets en trois sites A, B et C puis relâchés (figure b). On cherche à corréliser ces variations avec des données météorologiques (figures c et d) et des résultats de calculs évaluant le nombre de jours où le bas régime des cours d'eau permet la formation de zones d'eaux stagnantes (figure e).

3- Modification des relations interspécifiques : données sur les populations d'oiseaux des îles Hawaï

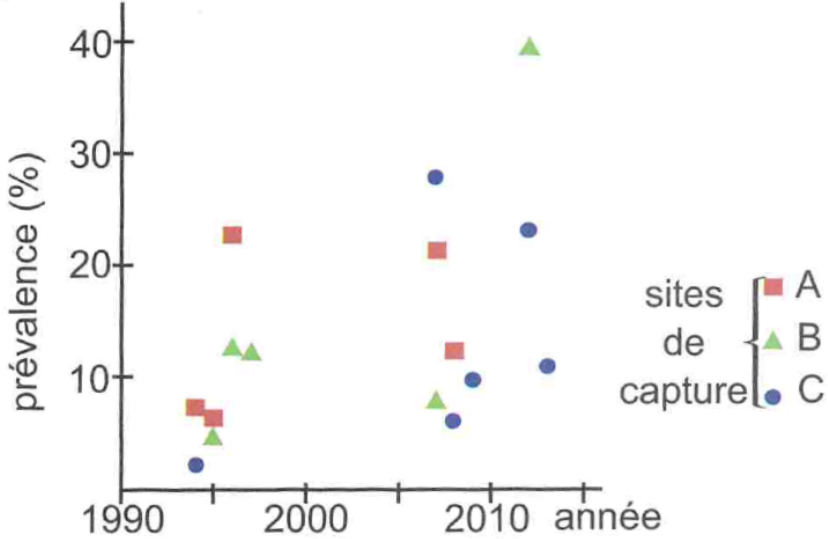
Document 10 :

9 - Analysez les résultats et proposez d'éventuelles corrélations pouvant permettre de proposer un enchaînement de relations de causalité.

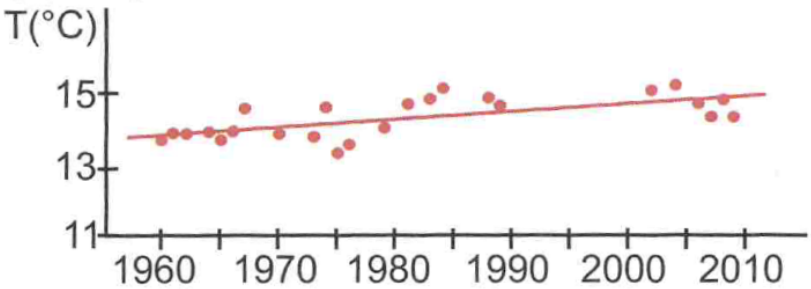
(a) liwi rouge (*Vestiaria coccinea*)



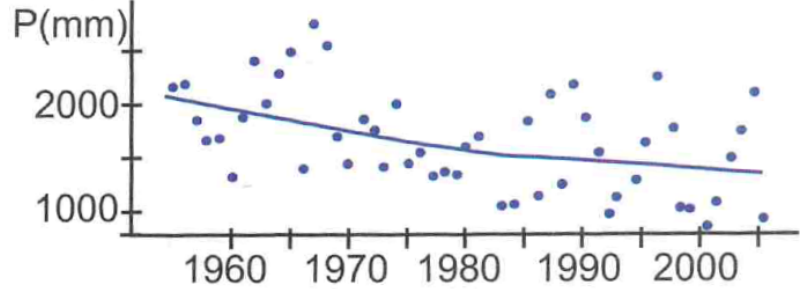
(b) prévalence du paludisme chez les oiseaux



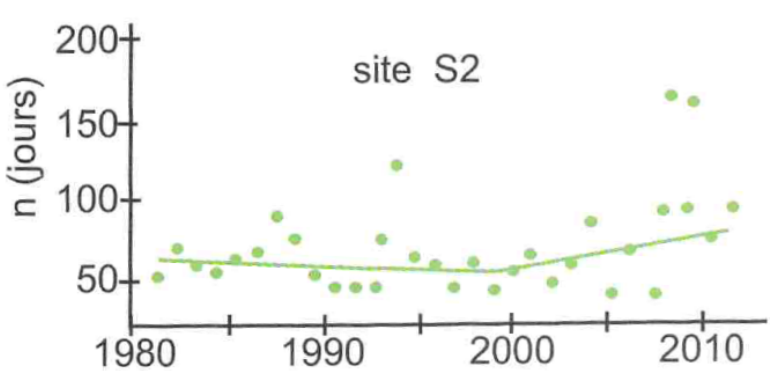
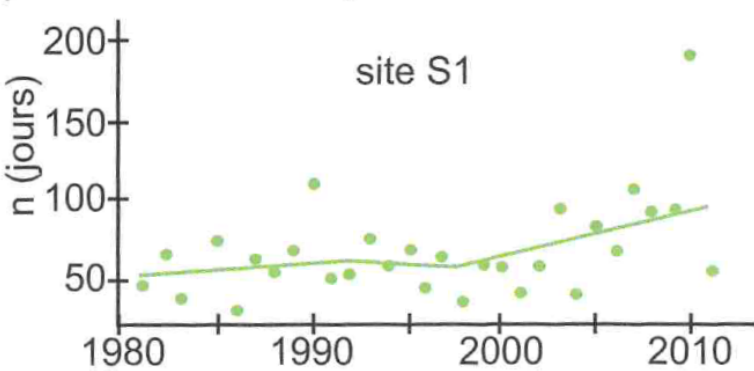
(c) température moyenne de l'air



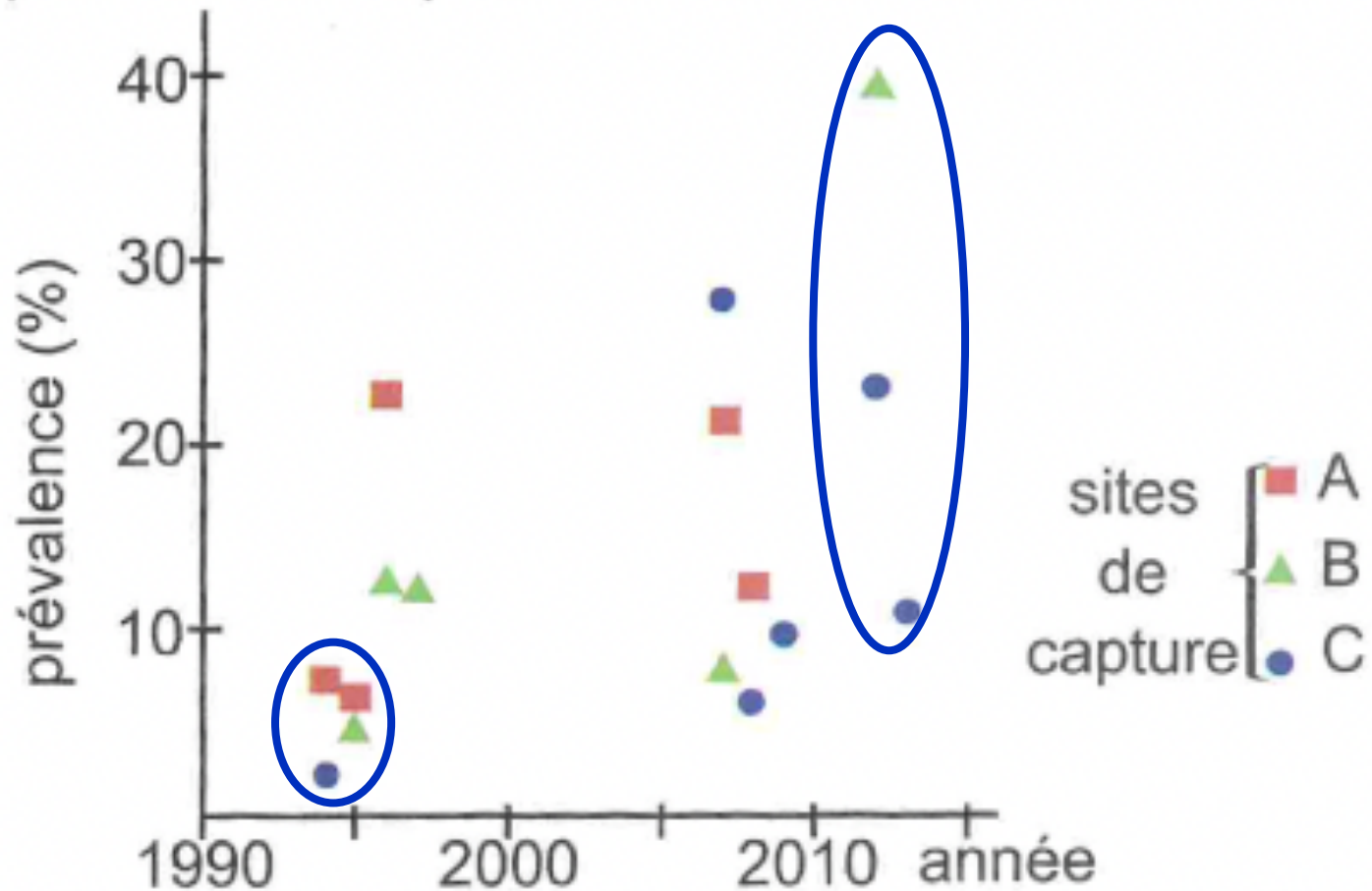
(d) précipitations annuelles



(e) nombre estimé de jours avec un faible niveau de circulation de l'eau dans 2 cours d'eau de l'archipel

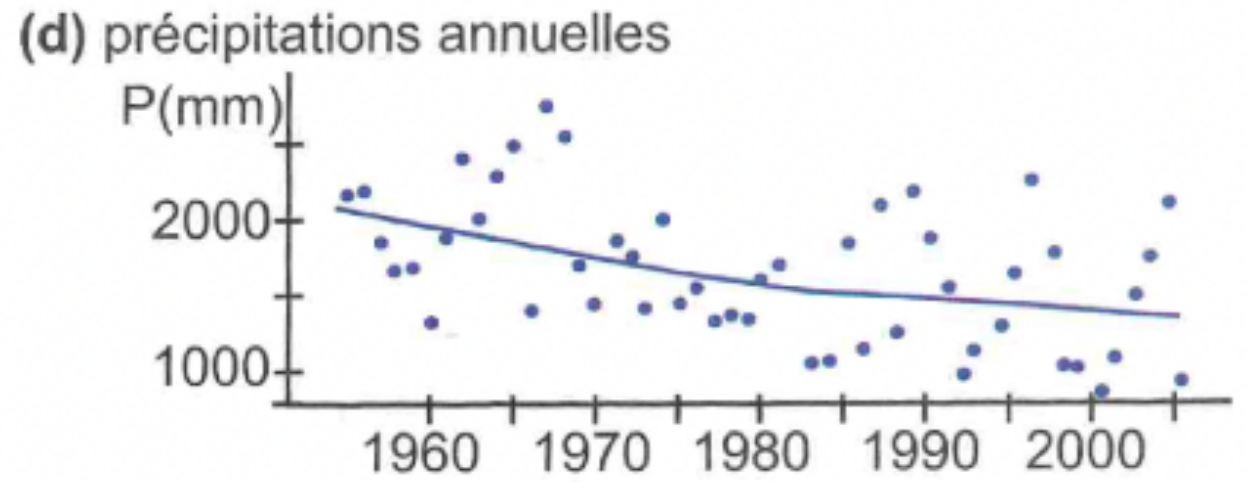
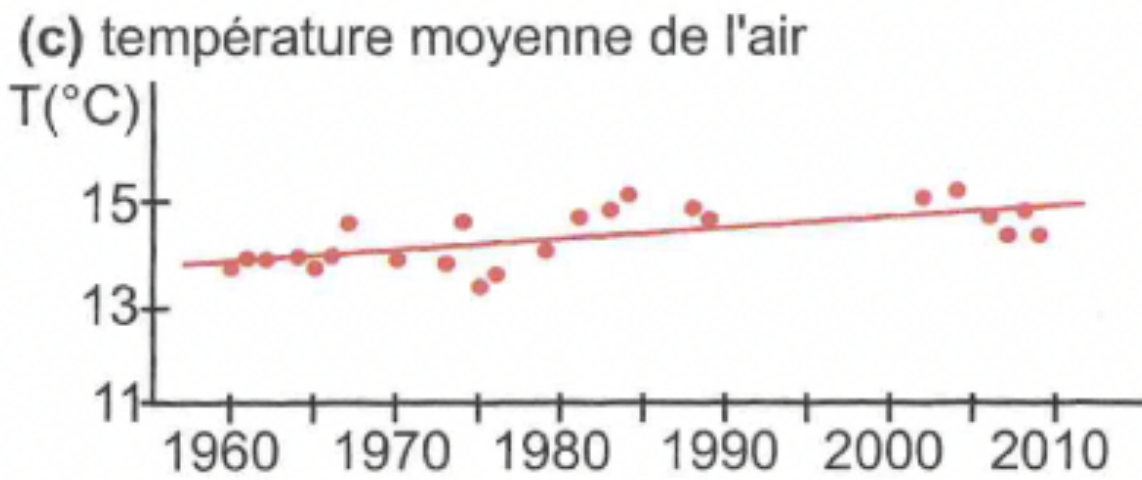


(b) prévalence du paludisme chez les oiseaux



Prévalence du paludisme chez les oiseaux **variable** d'un site à l'autre et **selon l'année**, en fonction du nombre plus ou moins élevé d'oiseaux capturés et testés.

Malgré cette variabilité, on dégage une **tendance à la hausse de la prévalence pendant les dix-neuf années de l'étude** : alors que tous les sites montrent des valeurs inférieures à 10 % en 1995, aucun site n'est dans cette situation en 2014.

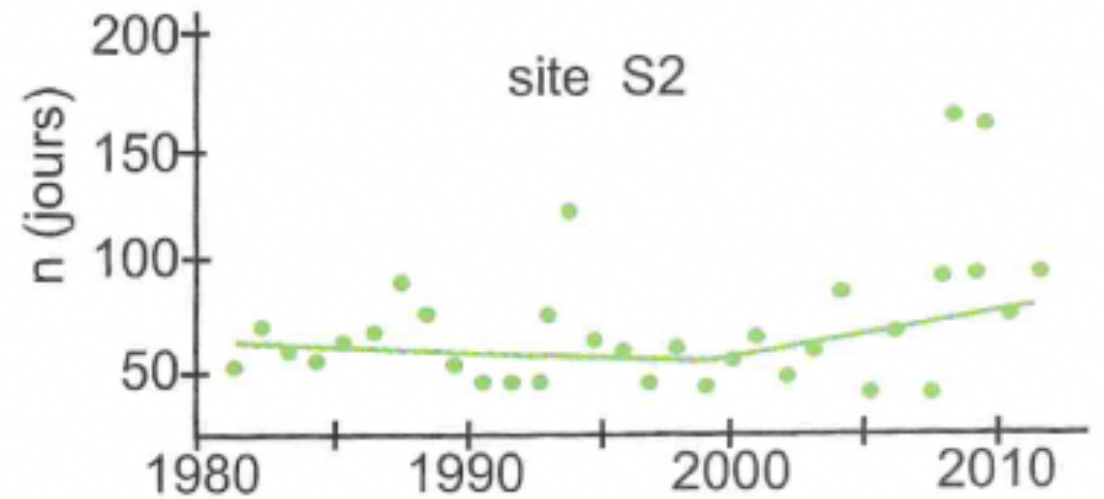
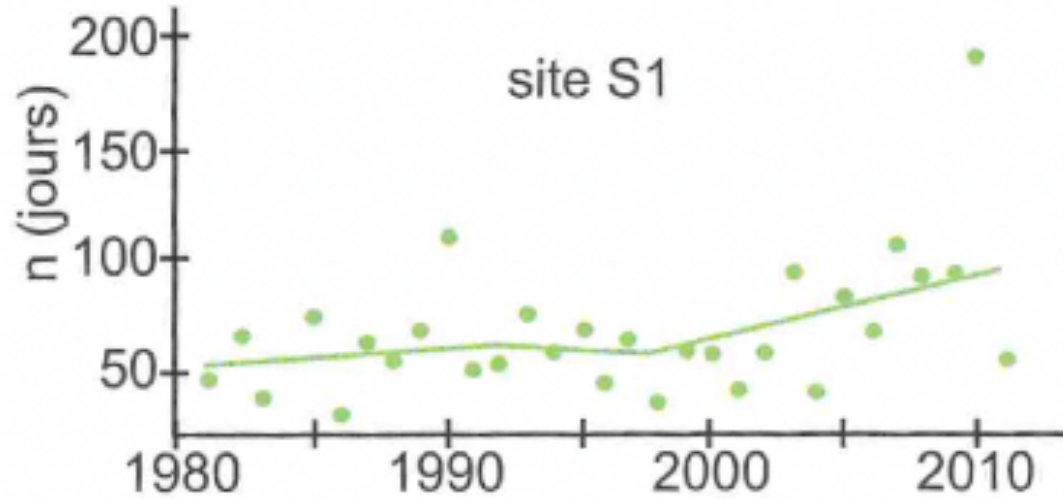


Les données météorologiques depuis 1960 mettent en évidence une augmentation de la température moyenne de l'air d'environ 1 °C sur cette période (figure c), associée à une baisse de la pluviosité de 500 mm (figure d).

Cette corrélation entre les données biologiques et climatiques peut conduire à formuler l'hypothèse que le changement climatique est à l'origine de l'augmentation de la prévalence du paludisme chez les oiseaux.

Pour éprouver cette hypothèse, il faut envisager les conséquences que le changement climatique pourrait avoir sur les populations de moustiques (vecteur), ou de Plasmodium (parasite).

(e) nombre estimé de jours avec un faible niveau de circulation de l'eau dans 2 cours d'eau de l'archipel



Les résultats de la figure e montrent que la baisse des précipitations a induit une augmentation du nombre de jours où les cours d'eau présentent un flux réduit (environ +50 % depuis 2010) ; or les larves de moustique ont besoin d'eaux stagnantes pour se développer.

Donc la réduction du courant des cours d'eau permet une augmentation des habitats potentiels pour les moustiques.

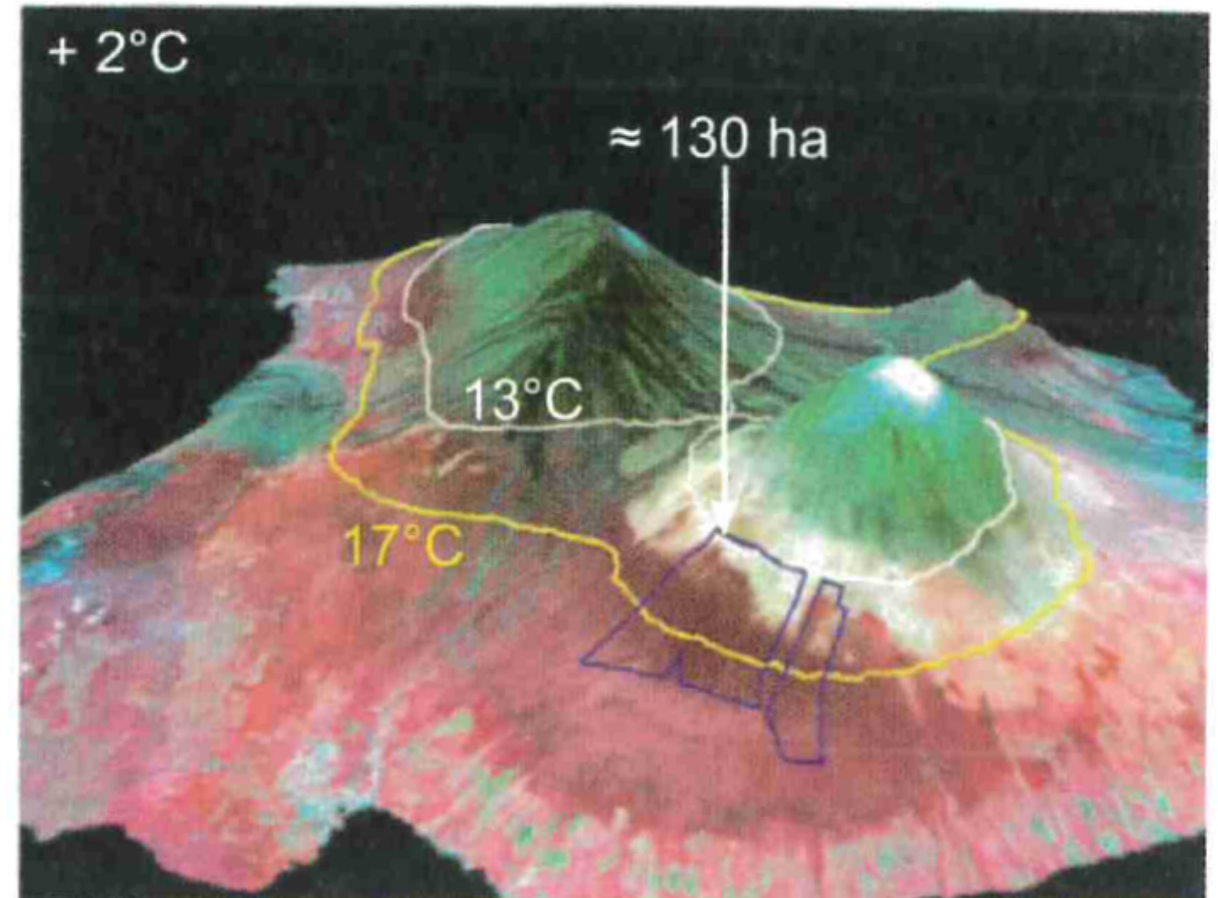
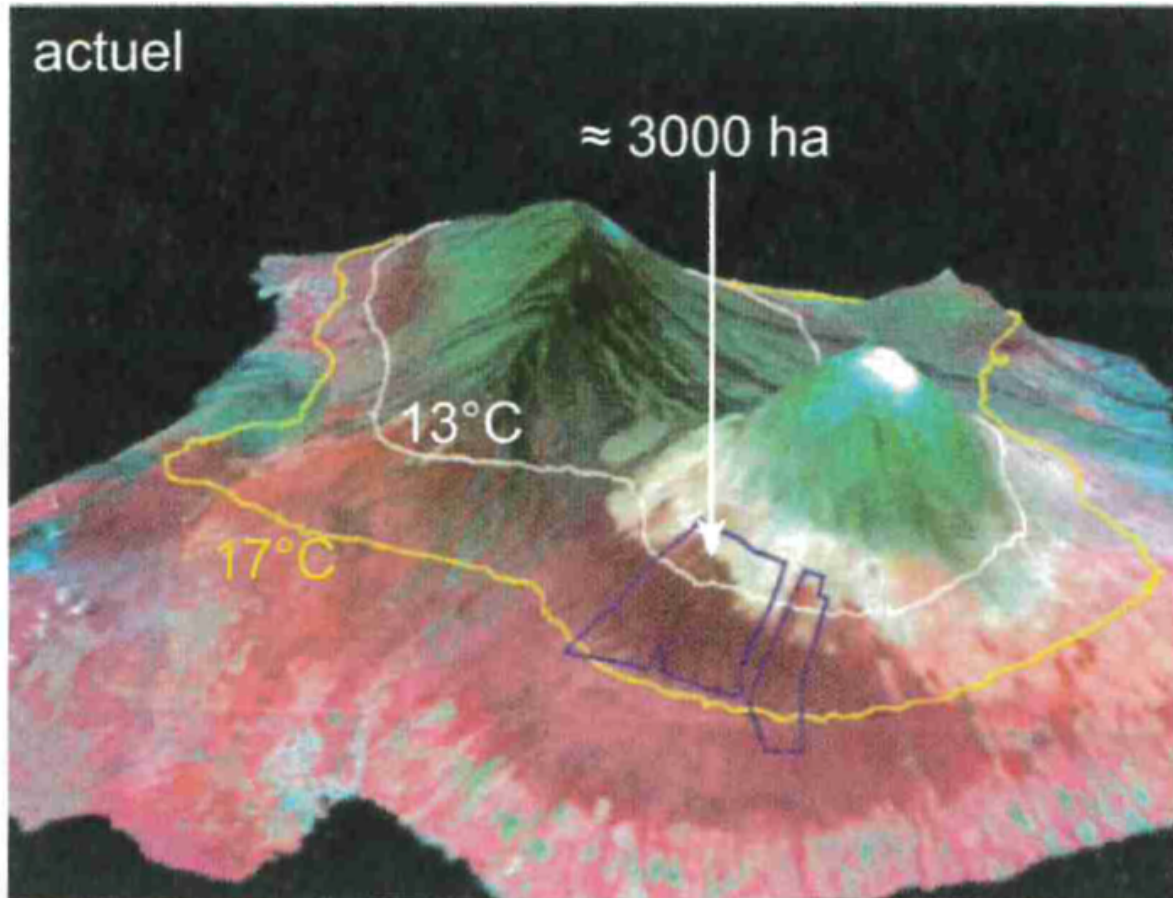
À partir des résultats de cette étude, on peut ainsi proposer l'interprétation suivante :

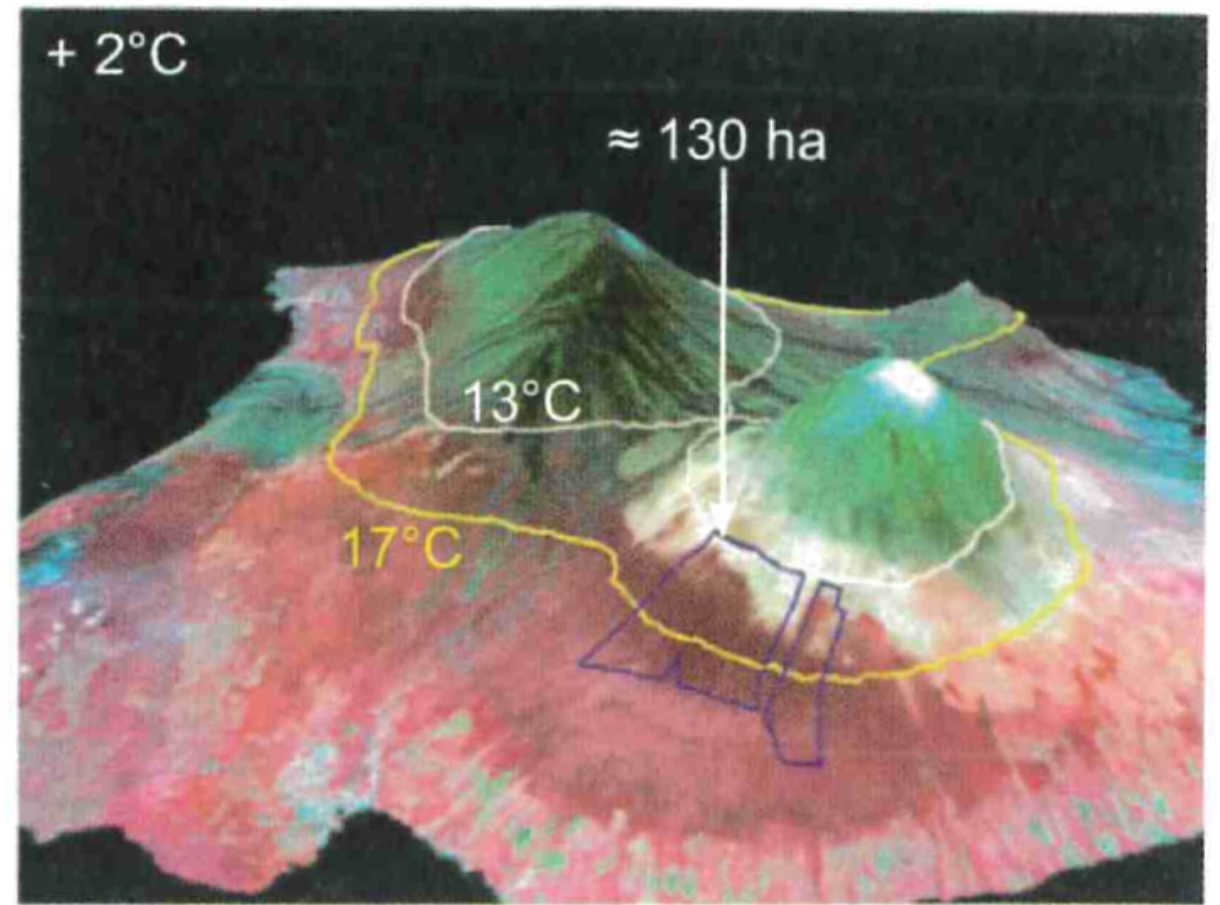
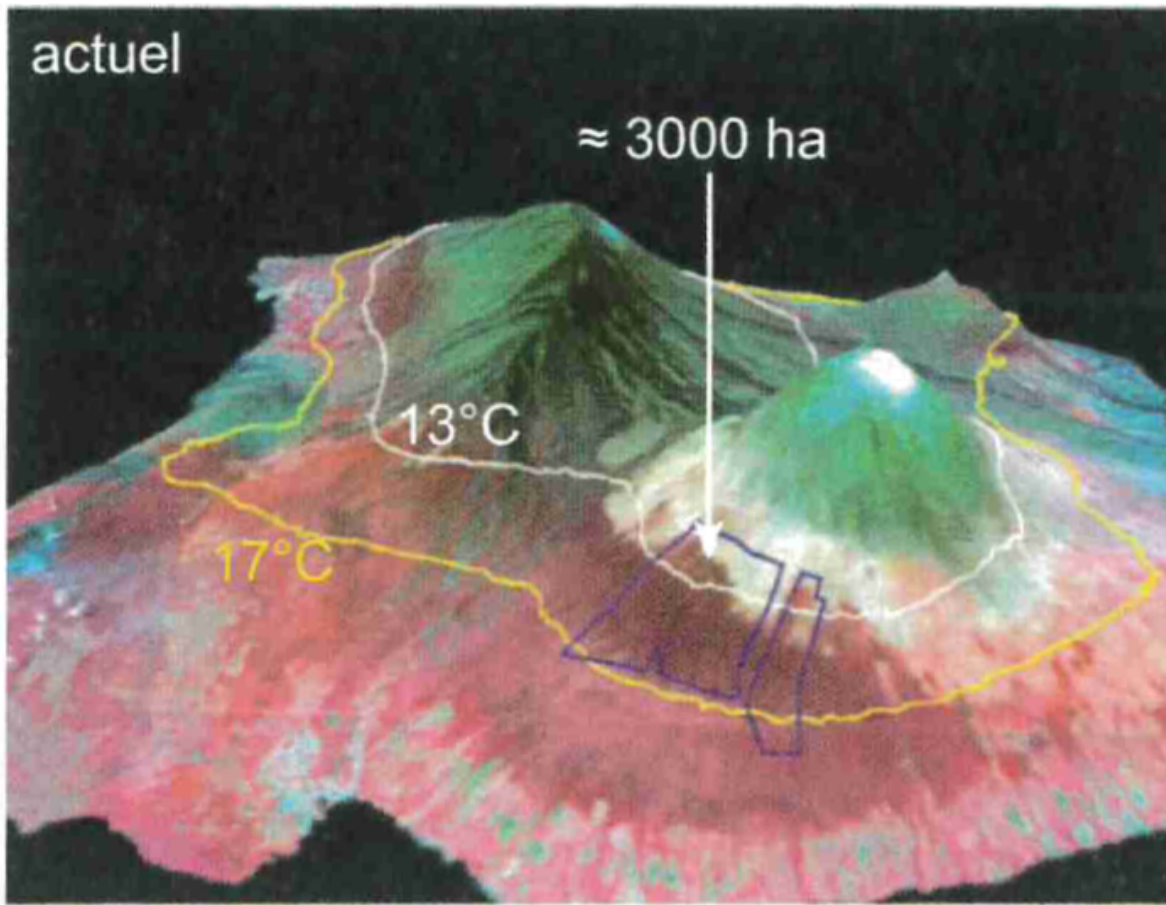
Changement climatique → prolifération des moustiques, parce qu'il fait plus chaud et parce que la réduction des précipitations diminue les périodes de fort courant défavorables au développement des larves.

→ infection plus marquée des oiseaux et une augmentation de leur mortalité.

Document 11 : Simulation des effets d'un réchauffement de 2 °C sur l'habitat potentiel des espèces d'oiseaux endémiques sur l'île d'Hawaï.

Les deux images ont le même fond (image SPOT de 1995) ; l'isotherme 17 °C (en jaune) correspond à la limite supérieure de la zone où le risque d'infection par le paludisme est maximal ; l'isotherme 13 °C (en blanc) est la limite inférieure de la zone où les oiseaux endémiques sont à l'abri du paludisme. La ligne bleue délimite les forêts qui constituent l'habitat actuel des oiseaux endémiques. La surface de la partie de cette zone située au-dessus de l'isotherme 13 °C (surface actuelle à gauche, surface estimée à droite) est indiquée en blanc au-dessus de la flèche.





Ces simulations montrent qu'un réchauffement de 2 °C entraînerait une des isothermes, ce qui éliminerait d'une part presque complètement la zone forestière refuge des oiseaux endémiques et accroîtrait d'autre part les surfaces d'infection potentielles par le plasmodium.

La préservation des populations d'oiseaux endémiques passe à la fois par la prévention de l'infection des oiseaux par le paludisme (en luttant contre les moustiques) et par la protection des forêts et leur régénération