

Le changement climatique : incertitudes structurelles et incertitudes propagées

Pierre Carrega*

Cette intervention vise à montrer comment peuvent se cumuler des incertitudes d'origines variées, responsables à la fois d'interrogations scientifiques tout à fait légitimes (Einstein a dit que le progrès scientifique est le remplacement d'une erreur par une autre erreur) mais de doutes dont on aurait pu faire l'économie.

L'incertitude « structurelle » est liée aux erreurs de mesure, essentielles pour la définition de « l'état initial » dans toute modélisation, mais aussi à l'incomplète connaissance que nous avons des phénomènes physiques, chimiques, biologiques et humains, ainsi que de leurs interactions. Que seront les émissions anthropiques de CO₂ en 2050 ?

L'incertitude propagée correspond à des abus méthodologiques au sein même de l'étude du système climatique, liés à diverses causes avec un point commun : l'adoption un peu – ou beaucoup trop – rapide d'hypothèses non réellement validées, que ce soit par les scientifiques eux-mêmes, ou encore plus par les journalistes, bien entendu.

Incertainitudes structurelles dans la mesure et dans la modélisation déterministe

Les erreurs liées à la mesure

Peuvent être rattachées à cette catégorie les erreurs dues aux instruments eux-mêmes, leur dérive dans le temps, et bien sûr les biais consécutifs aux changements de technologie. Toute modification de l'appareillage utilisé devrait s'accompagner d'un temps de mesure commun permettant une confrontation du nouveau et de l'ancien système afin de permettre le choix du meilleur coefficient correcteur, ce qui est rarement le cas. Or, au moment de l'apparition des stations météorologiques automatiques, il y a environ 25 ans, le remplacement du poste climatologique manuel de Genève par un poste automatique a justement

* Équipe Gestion et Valorisation de l'Environnement, UMR ESPACE, Université de Nice-Sophia Antipolis, 98 bd E. Herriot, 06204 Nice cedex 3, France

été précédé d'un tel type de « recouvrement » des mesures. Leur comparaison a pu laisser croire que les deux postes éloignés dans la réalité de 2 ou 3 mètres, étaient distants de plusieurs centaines de kilomètres!

Les erreurs de lecture sont par contre moins nombreuses, grâce à l'automatisation, qu'avec les postes « manuels », ce qui n'empêche pas non plus les erreurs de transcription. Mais l'électronique génère parfois des valeurs fausses absurdes ou non absurdes, ce qui est plus grave...

Quel que soit le système d'acquisition, les corrections ne sont pas toujours possibles, en particulier pour toutes les valeurs extrêmes qui interviennent dans la définition du risque, d'autant que dans ce domaine, il est scientifiquement infondé de déclarer d'office non valide une donnée, sous prétexte qu'elle n'a encore été jamais observée!

Un autre type d'erreur est celle liée à un mauvais positionnement des appareils de mesure qui, même en parfait état, ne peuvent mesurer que ce qui se passe dans leur environnement le plus immédiat. Une maladresse aboutit à une mauvaise interprétation et à une mauvaise prise en compte de l'état « initial », si important pour la modélisation; qu'il s'agisse du vent, de la température et de l'humidité de l'air, de la pluviométrie, du bilan radiatif, etc. L'erreur classique mais parfois inévitable est en général un dégagement insuffisant: arbres, bâtiments, mur, rochers, etc.

Le piège le plus redoutable est un changement d'environnement d'un poste censé témoigner du changement climatique: rural ou semi rural au départ, il est de plus en plus « noyé » dans de nombreux bâtiments, sur des kilomètres. Un bel exemple est celui de Paris-Montsouris fort mal à propos utilisé par l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2001) pour étayer la thèse du réchauffement, et qui a été probablement bien davantage témoin de l'incessante croissance urbaine du sud de Paris pendant plus d'un siècle, que du réchauffement global... Les effets de l'urbanisation sur le climat sont en effet connus depuis plus de 50 ans, avec en particulier, par rapport à la campagne voisine: températures plus élevées surtout l'après-midi et la nuit, gelées moins sévères et moins fréquentes, humidité plus faible, etc. (fig 1).

Le poids respectif des facteurs

Le système climatique est à l'évidence d'une complexité extrême par la grande diversité de ses composantes et de leurs interrelations, ainsi que par le délai de réponse propre à chaque intervenant. La difficulté réside dans l'attribution de son poids relatif à chaque élément du système, ce à quoi s'est bien entendu attaché l'IPCC, avec barres d'erreurs respectives. Toutefois, l'apparente ignorance mutuelle de certaines communautés scientifiques comme celle des climatologues-physiciens-modélisateurs et celle des astrophysiciens du soleil pique la curiosité. Certains chercheurs de cette dernière communauté insistent sur l'action de notre étoile et pensent que son rôle est sous-estimé (fig. 2 et fig. 3).

Figure 1 : Évolution du nombre annuel de jours de gel entre 1900 et 2000 à Paris-Montsouris. Source: IPCC www.ipcc.ch

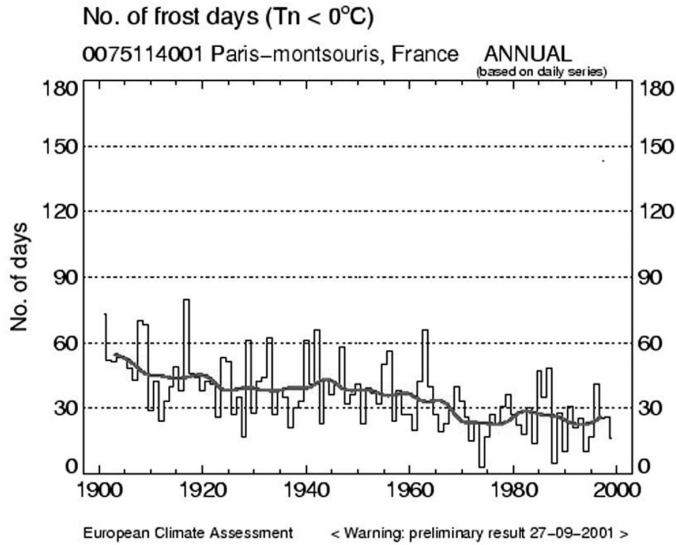


Figure 2: Reconstitution de la constante solaire de 1610 à 2000 (courbe en trait grisé) effectuée par données dendrochronologiques (trait plein) mises à l'échelle avec les mesures disponibles (pointillé). D'après Lean et al., 1995. In Nesme-Ribes et Thuillier, 2000.

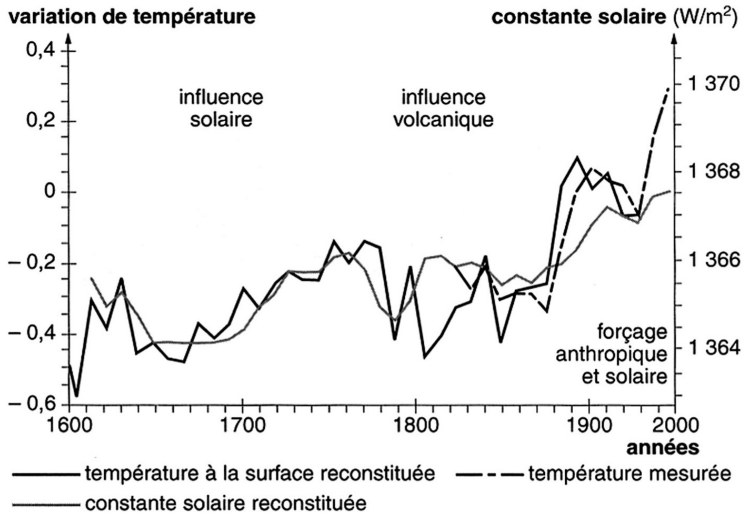
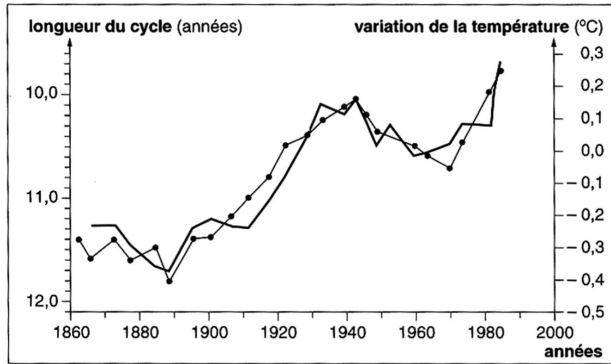


Figure 3: Variation de la température moyenne à la surface de la terre dans l'hémisphère Nord depuis 1860 par rapport à la longueur moyenne de l'intervalle 1951-1980 (trait continu gras).

La longueur du cycle de Schwabe est représentée par les points reliés par des traits fins. D'après Friis-Christiansen et Lassen (1991). In Nesme-Ribes et Thuillier, 2000.



La relation entre température de la terre et certains aspects de l'activité solaire est pour le moins frappante...

Il n'en reste pas moins que la physique démontre que le CO₂ (et d'autres gaz) accentue l'effet de serre. Les scénarios de la fig. 4 divergent quant aux hypothèses de comportement humain, ce qui, ajouté à l'incertitude sur l'effet de serre lui-même, explique que la hausse attendue des températures pour 2100, oscille entre 1,4° et 5,7° environ, 3,8° et 2,5° respectivement pour les deux scénarios A2 et B2, les plus vraisemblables.

Au total, les erreurs de mesure, que cette dernière serve à étayer un raisonnement ou à nourrir en entrée un modèle déterministe, alliées à l'inconnue des comportements humains futurs et à la non connaissance du fonctionnement détaillé du système climatique se conjuguent pour produire une incertitude importante sur ce que seront les climats futurs, à la fois dans le temps et dans l'espace.

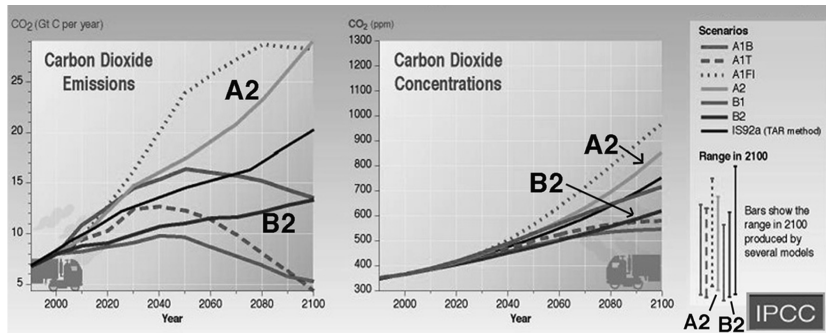
Incertaines propagées

Ici, l'incertitude ne relève pas des mécanismes ou des données, mais d'une propagation d'idées mal comprises, exagérées, ou qui sont sorties de leur contexte, et d'extrapolations abusives. Ce peut être le fait de scientifiques ou surtout de journalistes souvent en quête de sensationnel ou de simplification outrancière.

Au sein même du système climatique : extrapolations abusives.

La complexité déjà soulignée du système climatique permet à toutes les opinions de trouver une argumentation plus ou moins solide et fait le bonheur de ceux qui veulent le tout et son contraire. Un terrain très

Figure 4 : Scénarios de l'évolution des émissions et concentrations du CO₂ au cours du XXI^e siècle. D'après le 3^e rapport d'évaluation par l'IPCC sur le changement climatique.



favorable à ces développements est constitué par les « modèles » conceptuels utilisant un langage systémique simplifié où domine la représentation non quantifiée, avec de nombreuses flèches inter-reliant les éléments du système. Le poids des rétroactions – négatives et surtout positives, celles qui accentuent les déséquilibres – étant parfois inconnu ou non défini, cela ouvre la porte à toutes les conclusions contradictoires, au point que l'on ne sait plus ce qui va dominer, de l'action ou de la rétroaction.

Les exemples abondent de phénomènes annoncés dont on ne sait quel sera l'effet dominant. Ainsi, le réchauffement attendu est censé accélérer la fonte de la glace des inlandsis Groenlandais et Antarctique, en même temps qu'il est également porteur de plus fortes précipitations du fait de la capacité croissante de l'air à contenir de la vapeur d'eau au fur et à mesure qu'il se réchauffe. Il est donc inévitable que pour certains, l'avenir voit les glaciers diminuer de volume tandis que pour d'autres ce sera l'inverse...

On peut d'ailleurs rapprocher cet exemple de l'actuelle discussion sur les causes du raccourcissement de nombreux glaciers alpins, dû selon les écoles (ou les cas) au réchauffement, ou à la répétition, durant ces dernières années, d'étés ou même d'années à faibles précipitations.

Autre exemple, le réchauffement en cours aura pour effet de diminuer la salinité des eaux chaudes du Gulf Stream relayé par la Dérive Nord-Atlantique à cause d'un apport d'eau douce supplémentaire. La conséquence saute aux yeux immédiatement : la cessation de la plongée, au large de la Norvège, des eaux devenues trop légères, et donc le blocage du « tapis roulant » apportant l'eau chaude vers les côtes de l'Europe, ce qui se traduira par un refroidissement du climat européen paradoxalement engendré par le réchauffement mondial... La plupart des gens ont du mal à concevoir de telles contradictions apparentes.

Ce thème a d'ailleurs été exploité par un film-catastrophe américain à succès, intitulé « The Day After To-Morrow » qui, à une hypothèse acceptable au départ, n'hésite pas à ajouter une série d'invéraisemblances,

dont les principales sont évidemment la vitesse à laquelle s'effectue le bouleversement, mais aussi la nature de ce dernier.

À l'inverse de ces visions dramatiques et de ce catastrophisme, certains (de moins en moins nombreux, il est vrai) voient une source de bienfaits dans l'augmentation actuelle et future de la concentration en CO₂. Selon eux, celle-ci devrait en effet permettre une meilleure productivité agricole puisque le carbone supplémentaire disponible pourra contribuer à un accroissement de la construction de matière organique par la photosynthèse. Et l'on voit ainsi tel ou tel « centre de recherche » (en général américain, serait-ce une coïncidence?) annoncer que le passage d'une concentration de 280 ppm de CO₂ à 600 ppm, se traduira par une augmentation moyenne de 41 % de la production de blé, 135 % de celle d'oranges, 265 % de bois supplémentaire pour les pins... (Robinson et al, 1998).

Autre exemple intéressant, celui des efforts de régionalisation des climats futurs: on voit ainsi fleurir des cartes des températures ou précipitations futures à échelle parfois relativement fine, manifestement trop par rapport à la grille de calcul initial, ce qui signifie le passage par une interpolation spatiale sur laquelle on est en droit de se poser un certain nombre de questions.

L'incertitude se propage même à partir de projets scientifiques sérieux comme le projet Stardex concernant les extrêmes climatiques futurs (températures et précipitations), et soutenu par la Communauté Européenne.

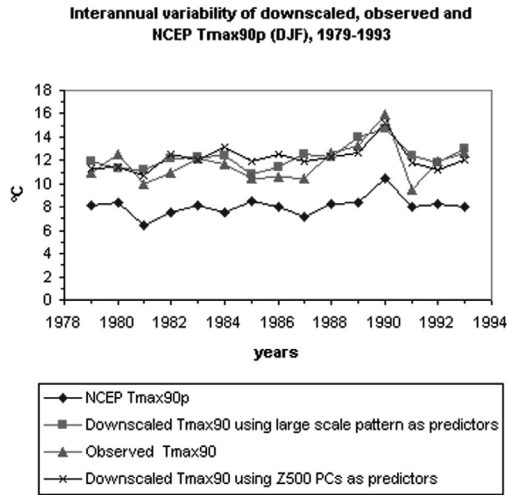
Le graphique de la figure 5 ne montre pas une réellement bonne adéquation entre valeurs observées (triangles) et valeurs reconstituées (carrés et croix), et c'est pourtant la saison (hiver) où elle est la meilleure... En été, les corrélations sont nettement plus faibles. On notera que le présupposé de ce type de travail est que, dans le futur, la nature des relations statistiques entre prédicteurs et valeur extrême recherchée ne changera pas.

Le dernier exemple de ce chapitre concerne les abus issus de confusions, qui sont en fait des sophismes: le climat futur sera plus chaud, donc les incendies de forêt méditerranéens qui, comme chacun sait, se produisent surtout en été, seront nécessairement plus nombreux. C'est aller trop vite et oublier (ou ignorer) que:

- 95 % environ des surfaces brûlées sont dues à seulement 5 % du nombre d'incendies de forêt;
- plus de 80 % des gros incendies, ceux brûlant une surface > 100 ha, donc les feux de forêts les plus dangereux et dévastateurs, ont lieu par type de temps bien spécifique: en France, régime de Mistral, de Tramontane ou de Foehn d'ouest; or rien ne permet d'affirmer que ces régimes météorologiques seront plus nombreux dans le futur.

De même qu'on ne décèle actuellement aucune tendance significative à la hausse du nombre de tempêtes sur l'Atlantique ou la France (Bessemoulin et al, 2000) ou des très fortes pluies quotidiennes en Toscane (Carrega, 2001).

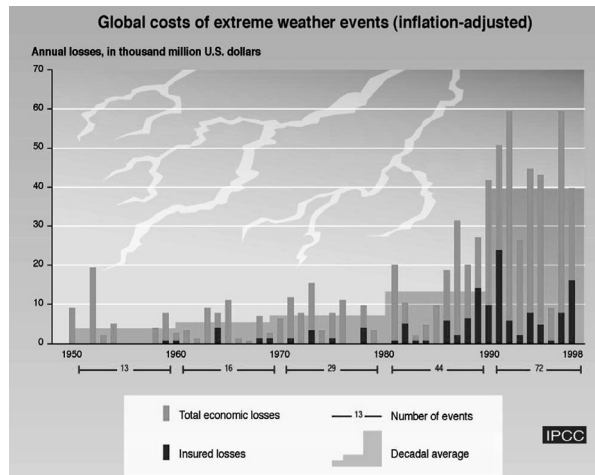
Figure 5 : Reconstitution a posteriori du 90^e percentile des températures maximales hivernales en Emilie-Romagne entre 1978 et 1994 selon la méthode du downscaling.
Source: Stardex Project.



**En aval des aléas du système climatique:
susceptibilité et vulnérabilité**

Une argumentation classique invoquée dans les débats sur le changement climatique consiste à brandir la hausse indiscutable des dégâts engendrés par les phénomènes naturels d'origine climatique, comme l'indique la figure 6.

Figure 6 : Coûts globaux en dollars constants des évènements climatiques dans le monde, de 1950 à 1998. Source: IPCC 2001.



Ces données ne signifient en rien un accroissement inquiétant de la puissance des événements extrêmes, mais simplement une augmentation des coûts qu'ils engendrent, ce qui, évidemment, est totalement différent : d'une part les gens sont davantage et mieux assurés qu'avant, et d'autre part, susceptibilité et surtout vulnérabilité des populations tendent à augmenter.

Il n'est peut-être pas inutile de rappeler les trois composantes du risque (qui par définition est inhérent aux extrêmes) :

- L'aléa (le « hazard » anglo-saxon) est l'événement initial déclencheur : éclosion d'incendie, forte précipitation, etc.
- La susceptibilité est la capacité du milieu à « donner une suite » à l'aléa : forte propagation des flammes grâce à la pente, à la présence d'un combustible dense, ou encore développement d'une crue grâce à l'imperméabilité du sol, au faible recouvrement végétal, etc.
- La vulnérabilité est à la fois l'enjeu (les personnes, les richesses) et sa fragilité, sa capacité à se défendre, à lutter, à se relever, etc.

Il est clair qu'une crue aura plus de facilité, d'une part à se développer sur une surface rendue de plus en plus imperméable par les changements de l'occupation du sol (susceptibilité accrue), d'autre part à provoquer des dégâts dans son lit majeur vide il y a 50 ans mais aujourd'hui occupé par des maisons.

L'envolée des dommages relève donc bien davantage de la susceptibilité et de la vulnérabilité croissantes que d'aléas de plus en plus impressionnants.

Un dernier exemple dans ce domaine peut être donné, concernant les incendies de forêt : on assiste actuellement à une multiplication des incendies mixtes, semi-urbains et semi-forestiers, dans les régions de type méditerranéen (sud de la France, Californie...) du fait de la forte mutation actuelle de l'occupation du sol (Carrega, 2005). La fig 7 montre ainsi les transformations d'une commune azurée, Roquefort les Pins, en 50 ans (Carrega, 1992).

À aléa supposé égal, l'accroissement du risque de feu de forêt est évident par augmentation de la susceptibilité (surface forestière plus étendue) et de la vulnérabilité (beaucoup de maisons dispersées au sein de la forêt, ce qui divise les forces de lutte).

Figure 7a: Les transformations du paysage entre 1931 et 1981 à Roquefort les Pins (Alpes-Maritimes). Noter l'extension de la forêt (en gris) et de l'habitat dispersé (en noir).

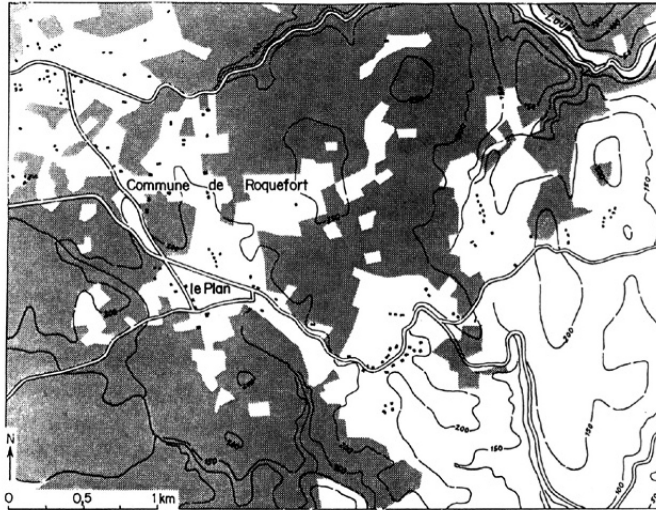
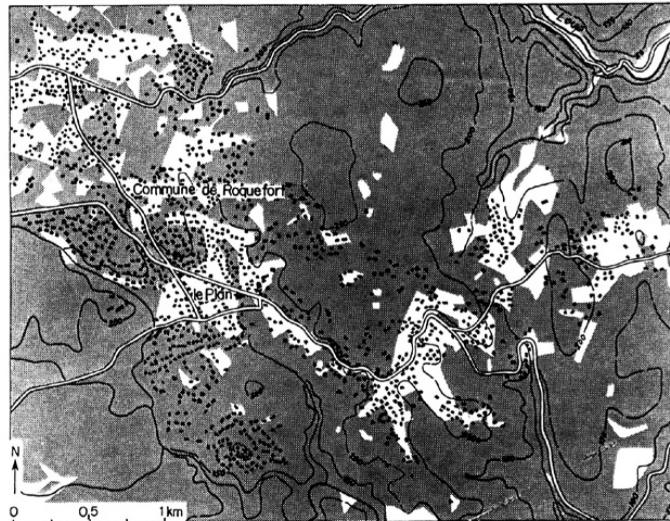


Figure 7b: Les transformations du paysage entre 1931 et 1981 à Roquefort les Pins (Alpes-Maritimes). Noter l'extension de la forêt (en gris) et de l'habitat dispersé (en noir).



Conclusion

Il n'est pas question ici de contester la réalité de l'influence anthropique dans le réchauffement climatique, mais un examen critique, même rapide, de ce thème un peu passionnel, montre plusieurs niveaux et causes d'incertitudes. Certaines relèvent tout à fait normalement du processus et de la démarche scientifique qui génère naturellement de l'incertitude, d'autres relèvent de l'ignorance ou de la doctrine. Au-delà des dérapages et exagérations de la presse, et du mélange des genres, il nous paraît important de ne pas diaboliser toute activité humaine ou de ne pas lancer en permanence de fausses alertes sous prétexte de la nécessité absolue de ne produire aucune alerte manquée. Ce serait très vite parvenir à la lassitude et la démobilisation.

Sur un plan strictement scientifique, la complexité des phénomènes en jeu, ainsi que l'inertie de certains, produisent des décalages temporels entre causes et effets auxquels s'ajoutent les rétroactions. C'est une raison supplémentaire pour prendre des précautions sans attendre les effets !

Bibliographie

BESSEMOULIN P., 2002. Les tempêtes en France, *Annales des mines*, août 2002 et www.meteofrance.com

BESSEMOULIN P., PLANTON S. 2000. Le climat s'emballe-t-il? *La Recherche*, 335, oct 2000.

CARREGA P., 1992. *Topoclimat et habitat*. Thèse d'état manusc. ou Revue d'Analyse Spatiale Quantitative et Appliquée, Nice, 1994, n° 35 et 36. 408 p.

CARREGA P., 2001. Les fortes précipitations quotidiennes en Toscane et leur cartographie. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, Vol. 13. pp. 169-180

CARREGA P., 2005. Le risque d'incendie en forêt méditerranéenne semi-urbanisée: le feu de Cagnes sur mer (31 août 2003). *L'espace géographique*, 2005, 3, pp. 305-314

IPCC, 2001. *Third Assessment report-Climate Change 2001*. www.ipcc.ch

NESME-RIBES F., THUILIER G., 2000. *Histoire solaire et climatique*. Belin.

ROBINSON A.B., BALIUNAS S. et alii, 1998. Environmental effects of increased atmospheric carbon dioxide. *Oregon Institute of Science and Medicine*. www.oism.org