

L'AIE (Agence Internationale de l'Énergie) et le GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) sont deux organismes intergouvernementaux qui produisent des scénarios avec la vocation de conseiller les politiques. L'AIE œuvre dans le domaine de l'énergie, et le GIEC dans celui du changement climatique. Cependant, les scénarios de l'AIE ont aussi pour base les exigences de réduction d'émission de gaz à effet de serre. Les deux organismes ont élaboré des modèles pour donner des prédictions d'évolution, et contribuer à la prise de décision politique. Ils ne peuvent la contraindre, et sont limités à un rôle de conseils. Les modèles de l'AIE et du GIEC diffèrent dans les sources et les composantes. Ces modèles génèrent tous deux des incertitudes. Ces incertitudes sont identifiées et présentées dans le cas du GIEC. En revanche, l'AIE ne donne pas d'information sur le traitement des incertitudes dans les données qu'elle récolte ni sur les résultats qui en découlent.

L'AIE et le GIEC : origines

AIE

- Organisation intergouvernementale autonome
- Établie au sein de l'OCDE en 1974 en réponse au choc pétrolier de 1973. (vocation initiale : répondre aux problèmes d'approvisionnement en pétrole.)
- Membres : seuls les pays de l'OCDE peuvent devenir membres de l'AIE. Ils en font tous partie à l'exception de 6 d'entre eux (Chili, Estonie, Islande, Israël, Mexique, Slovaquie). Il y a donc **28 membres**.
- Triple mandat actuel :
 - œuvrer pour la **sécurité énergétique**
 - promouvoir le **développement économique**
 - soutenir la **protection de l'environnement**

GIEC

- Organisation intergouvernementale autonome.
- Établie par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) en 1988.
- Ouvert à tous les pays membres de l'ONU ou de l'OMM. Il y a actuellement **194 pays membres**.
- Acquérir des connaissances sur la compréhension des processus moteurs du climat, et sur sa sensibilité aux émissions de gaz à effet de serre. Limiter les impacts du réchauffement climatique.

L'AIE et le GIEC : modèles

AIE

Le World Energy Model (WEM-ECO).
Modèle hybride : couple les approches bottom-up et top-down.
WEM stricto sensu (bottom-up) + IMACLIM-R (top-down)
Remarque : IMACLIM-R est développé par le CIRED (Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement)

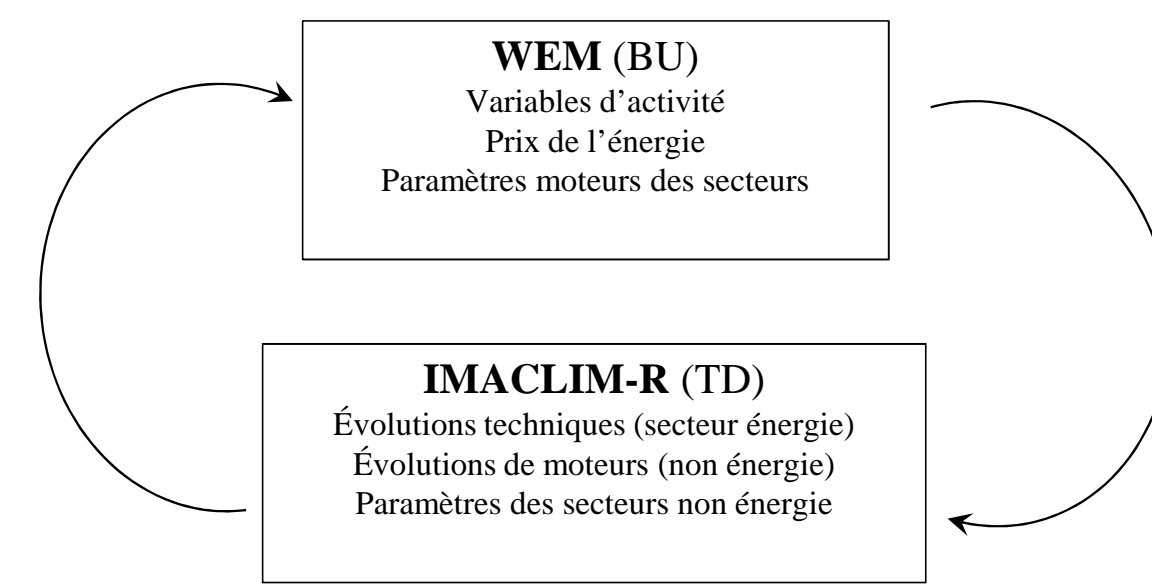


Fig 1. Processus itératif utilisé dans le modèle de l'IEA

GIEC

- Modèles de circulation générale océan/atmosphère (MCOA):
 - représentation explicite des processus influant sur la quantité, la répartition et les propriétés des composés atmosphériques
 - évaluation du forçage mondial moyen résultant, de la sensibilité climatique; **variations régionales**, évolution de la variabilité et des extrêmes
 - temps de calcul importants
- Modèles climatiques simples (MCS) :
 - projection relative à la **température moyenne mondiale** de l'élévation du niveau moyen de la mer à l'échelle du globe
 - Calcul des variations de température et de l'élévation de la mer en fonction des concentrations de gaz à effet de serre et du forçage radiatif.

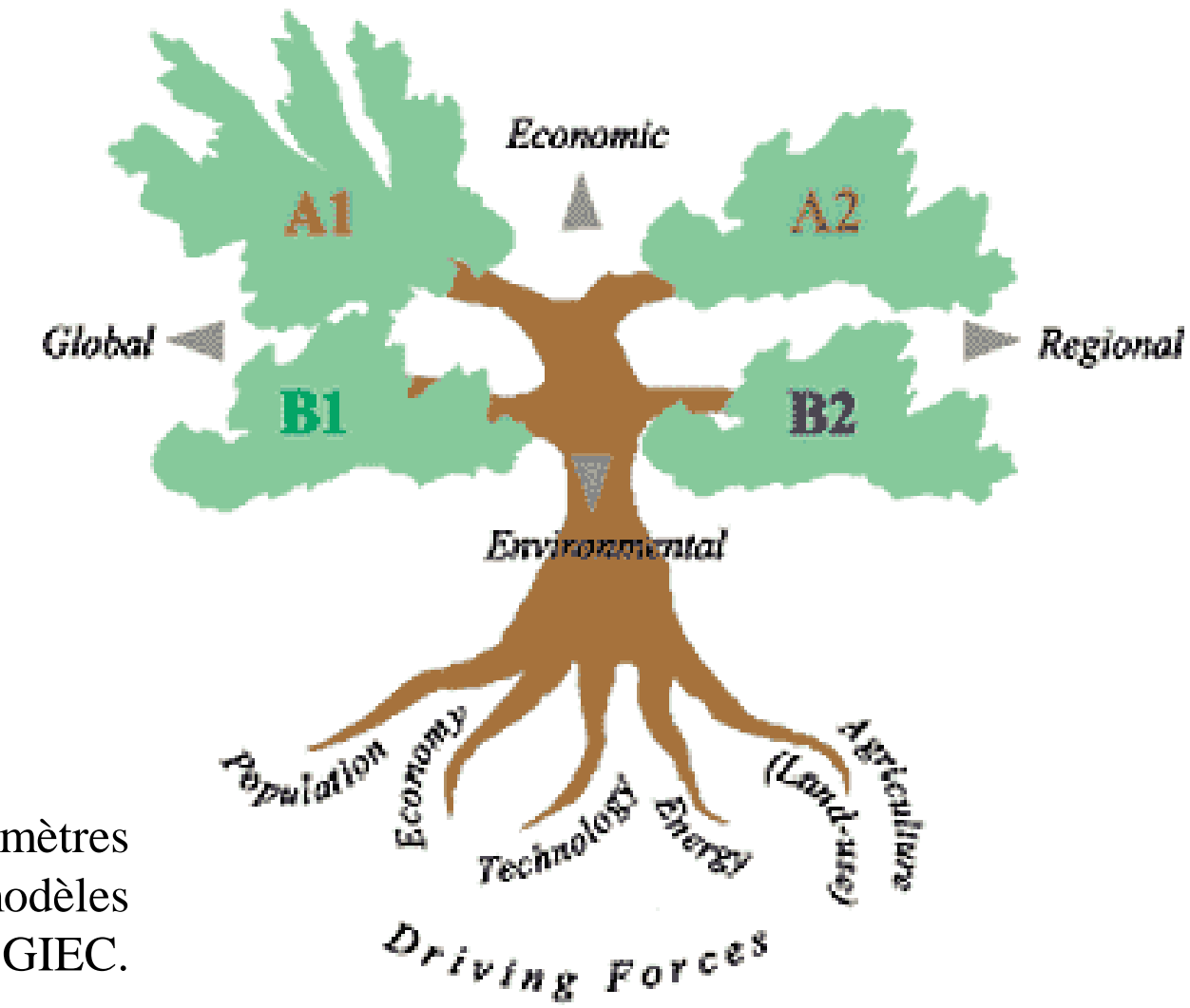


Fig 2. Paramètres moteurs des modèles du GIEC.

Les paramètres moteurs du modèle de l'AIE :

- Population** : nombre de personnes actuel, taux de croissance, projections avec dynamique de croissance (taux plus ou moins important au fil des ans).
- Croissance économique** : valeur actuelle du PIB par pays, croissance prévue et sa dynamique
- Prix de l'énergie** : reflet des prix du combustible, des technologies utilisées pour sa production (gaz, pétrole, charbon...); de la demande et de l'intensité.
- Technologies** : coûts et avancées, projections en fonction du type de sources, de secteurs.
- Prix du CO2** : au niveau des marchés du carbone et contraintes de stabilisation des taux.
- Action politique** : prise en compte de la contrainte politique et de sa description; projection de mise en œuvre plus ou moins totale.

Modèles classiquement utilisés dans la recherche en économie-énergie-environnement

- Bottom-up** : Description détaillée des **technologies énergétiques** actuelles et futures. Peu de caractérisation des prises de décision à l'échelle micro-économique par les consommateurs et producteurs ; pas de point de vue macro-économique pour intégrer les données
- Top-down** : Cadre d'équilibre général au niveau macro-économique Représentation agrégée du secteur énergétique Pas de description des technologies ni des régulations moteurs de l'évolution des variables du modèle

L'AIE et le GIEC : des sources et une expertise qui diffèrent

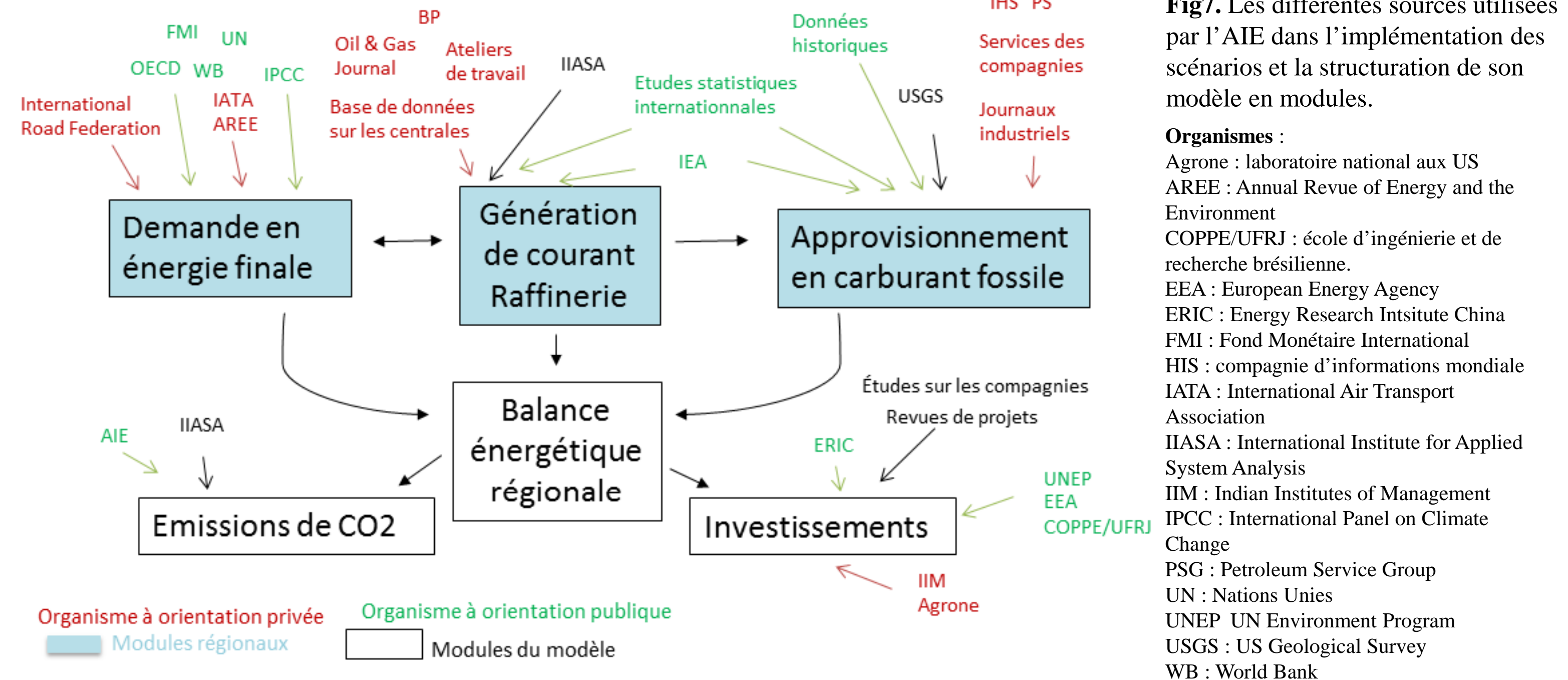


Fig7. Les différentes sources utilisées par l'AIE dans l'implémentation des scénarios et la structuration de son modèle en modules.

Organismes :
Agrone : laboratoire national aux US
AREE : Annual Review of Energy and the Environment
COPPE/UFRJ : école d'ingénierie et de recherche brésilienne.
EEA : European Energy Agency
ERIC : Energy Research Institute China
FMI : Fond Monétaire International
HIS : compagnie d'informations mondiale
IATA : International Air Transport Association
IIASA : International Institute for Applied System Analysis
IIM : Indian Institutes of Management
IPCC : International Panel on Climate Change
PSG : Petroleum Service Group
UN : Nations Unies
UNEP : UN Environment Program
USGS : US Geological Survey
WB : World Bank

Appréhender incertitudes et écarts aux scénarios: le cas du climat

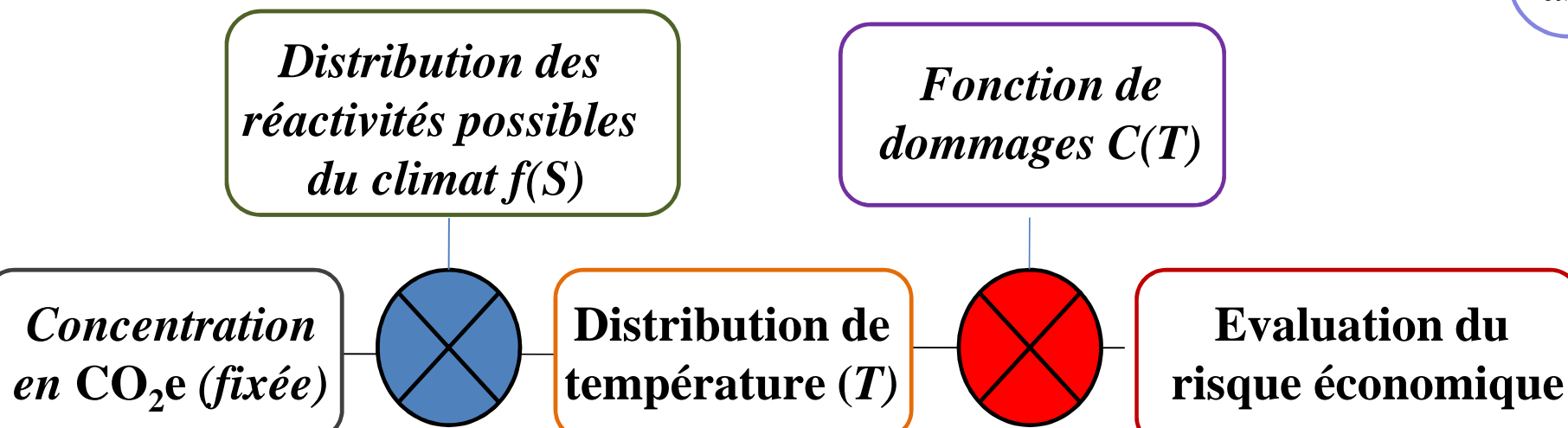
Les valeurs futures de paramètres climatiques clés comme la température ne peuvent être déterminées avec exactitude par les seules données du présent. Ces valeurs peuvent être **conceptualisées sous la forme de variables aléatoires**, tirées à partir d'une fonction densité de probabilités.

Comment évaluer les incertitudes concernant l'ampleur des dommages économiques créés par le réchauffement climatique?

A partir des résultats du GIEC, l'article de M. Weitzman¹ montre qu'il est possible de définir une **analyse de type coût-risque**, servant de **point de départ à une réflexion économique et politique**.

$\Delta T = 3^\circ$: Estimation de la hausse de la moyenne de la température due à une concentration totale en gaz à effet de serre équivalente à une concentration en dioxyde de carbone (CO_2e) de 400ppm.
 $\Delta T > 6^\circ$: Estimation de la température critique pouvant engendrer rapidement des modifications majeures du climat (*inversion de courants marins, fonte d'hydrate de méthane...*).
 $\Delta T = 8^\circ$: Température du Paléocène (55 Ma), associée à une disparition massive d'espèces.

Fig 3. Schéma illustrant le modèle utilisé. La réactivité du climat est considérée comme une variable aléatoire. La température est une fonction dépendant d'une réalisation de cette réactivité et de la concentration en CO_2e . Le risque économique à partir de la distribution des hausses de température est décrit par une fonction de dommages $C(T)$.



Incertitudes sur la réactivité climatique et sur l'ampleur de la hausse des températures

- La **réactivité du climat (S)** est définie comme la hausse de la température suite à un doublement de la concentration en équivalent CO_2e (G) (moyenne à l'équilibre).
- L'estimation d'un risque plus grave que le scénario estimé actuellement peut se faire suivant **trois classes de comportement des queues de distribution de probabilités**. La distribution de Pareto (resp. lognormale) surestime les risques par rapport à la distribution lognormale (resp. gaussienne).
- La distribution de probabilité de la hausse de la température ψ consécutive à une concentration en CO_2e exprimée en ppm (G) se déduit de la distribution de $f(S)$ par la formule.

$$\psi_T(T | G) = \frac{f_T(T/\Phi(G))}{\Phi(G)}, \text{ avec } \Phi(G) = \frac{\ln(G/280)}{\ln 2}$$

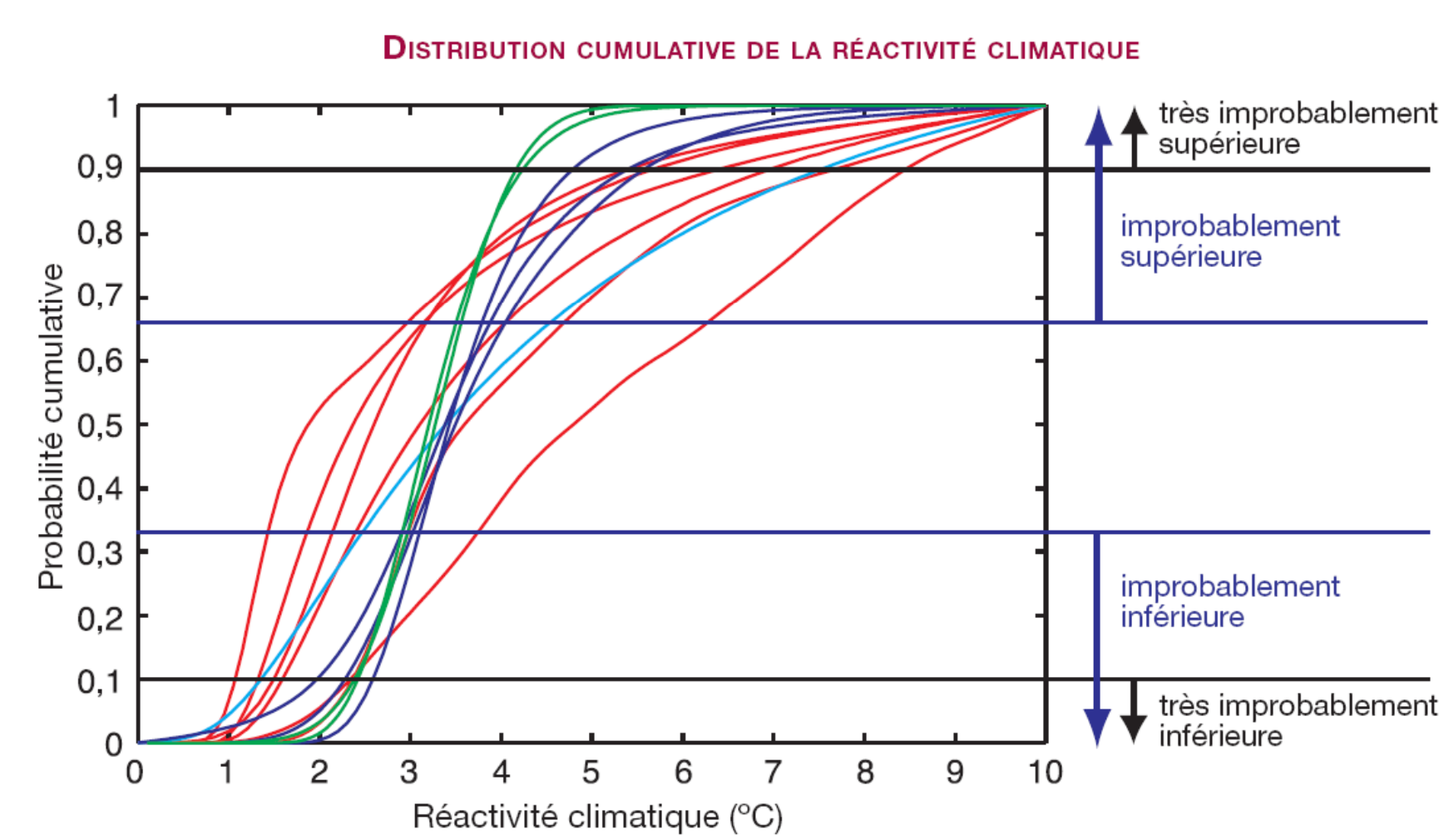


Fig.4. Probabilité estimée suivant les distributions de Pareto (P), LogNormale (L) ou Gaussienne (G) d'une réalisation d'une hausse de 6° de la température suivant différentes valeurs de la concentration en CO_2e (G exprimée en ppm).

Fig.5. Distribution cumulative de la réactivité climatique dérivée des observations du réchauffement au cours du XXe siècle (en rouge), de la climatologie modélisée (en bleu), des preuves indirectes (en bleu clair). Extrait de Ref. 3.

Classes de distribution de probabilité pour les événements rares:
o Pareto $f_P \propto S^{-\alpha}$
o Gaussienne $f_N \propto \exp\left(-\frac{(S-\alpha)^2}{2\sigma^2}\right)$
o LogNormale: $f_L \propto \frac{1}{S} \exp\left(-\frac{(\log(S)-\beta)^2}{2\sigma^2}\right)$
Dans le modèle, ces distributions sont étalonnées sur les estimations du GIEC:
 $P[S \geq 3^\circ\text{C}] = .5$ $P[S \geq 4.5^\circ\text{C}] = .15$

G :	400	750	1000
T_M :	1.5°	4.3°	5.5°
$P_P[T \geq 6]$:	.9%	18%	39%
$P_L[T \geq 6]$:	10^{-4}	19%	41%
$P_N[T \geq 6]$:	10^{-9}	20%	43%

Mesure de l'impact du réchauffement climatique sur l'économie

- On définit la **fonction de dommages C(T)** pour toute réalisation de la variable aléatoire température T comme le rapport de la consommation en présence du réchauffement climatique sur la consommation potentielle en l'absence de tout réchauffement climatique.
- Optimisation du bien-être**: Nous considérons comme contrainte la réalisation d'une catastrophe au temps $\tau = 150$ ans dont l'impact économique est donné par la fonction $C(T=6^\circ)$.

$$\int_0^\infty U(C) \exp(-.02t) dt = \int_0^{150} U(\exp(.02t)) dt + E \left[\int_{150}^\infty U(\tilde{C}_T \exp(.02t)) dt \right]$$

Fonction de dommages effective Catastrophe: $\tau = 150$ ans Moyenne sur les réalisations des températures

- Conclusion**: Maintenir la concentration à $G = 550$ ppm plutôt que de laisser G atteindre 750 ppm vaut environ 40% de la consommation actuelle (Fig 5). Il est donc logique d'utiliser une partie de la consommation maintenant pour éviter une éventuelle issue catastrophique dans 150 ans.
- Limitation du modèle**: L'analyse coût-risque donne des résultats très variables suivant les valeurs arbitrairement fixées pour les paramètres inconnus. Par exemple, si la distribution $f(S)$ est de type Pareto, la consommation à 750ppm serait de 22% au lieu de 58%.

Quelle politique de gestion du risque?

L'analyse coût-risque de M. Weitzman propose de voir la politique de réduction des émissions de gaz à effet de serre comme un **investissement sous forme d'une assurance**. Les coûts d'une telle politique sont compensés par les coûts que provoqueraient les catastrophes futures si rien n'est fait.

Principe de l'actualisation²

$$U(C) = \frac{C^{1-\eta}}{1-\eta}$$

C est le capital (ou la consommation).
 $U(C)$ est le bien-être lié à la consommation.
 η est l'élasticité de l'utilité marginale, liée au taux d'intérêt estimé des biens. ($\eta = 3$).

$$C(t > 0) = C(0)e^{rt}$$

$$r = \delta + \eta g$$

r est le taux d'intérêt., g est le taux de croissance du capital, δ est le taux de préférence pure pour le présent.

G (ppm)	400	550	750	100
$C_R[f_i](G)$	100%	97%	58%	24%

Fig.6. Valeurs de la fonction de dommages effective du modèle de M. L. Weitzman, avec une distribution de réactivité climatique log-normale et avec un changement climatique brusque à $\tau = 150$ ans¹.

AIE

- Sources privées/publiques
- Pas d'études menées par l'AIE même
- Démarche déterministe et directive : ne cherche pas à déterminer le scénario le plus probable, mais à prévoir les investissements nécessaires.
- Experts impliqués du domaine de l'économie, de la construction de statistiques

GIEC

- Grande importance accordée à la probabilisation (vocabulaire précis)
- Utilise la littérature mondiale déjà existante sur les aspects scientifiques, techniques et socio-économiques du changement climatique
- Procédé de révision par les pairs.
- Experts scientifiques d'origines géographiques variées
- Accords scientifiques/politiques nécessaires.

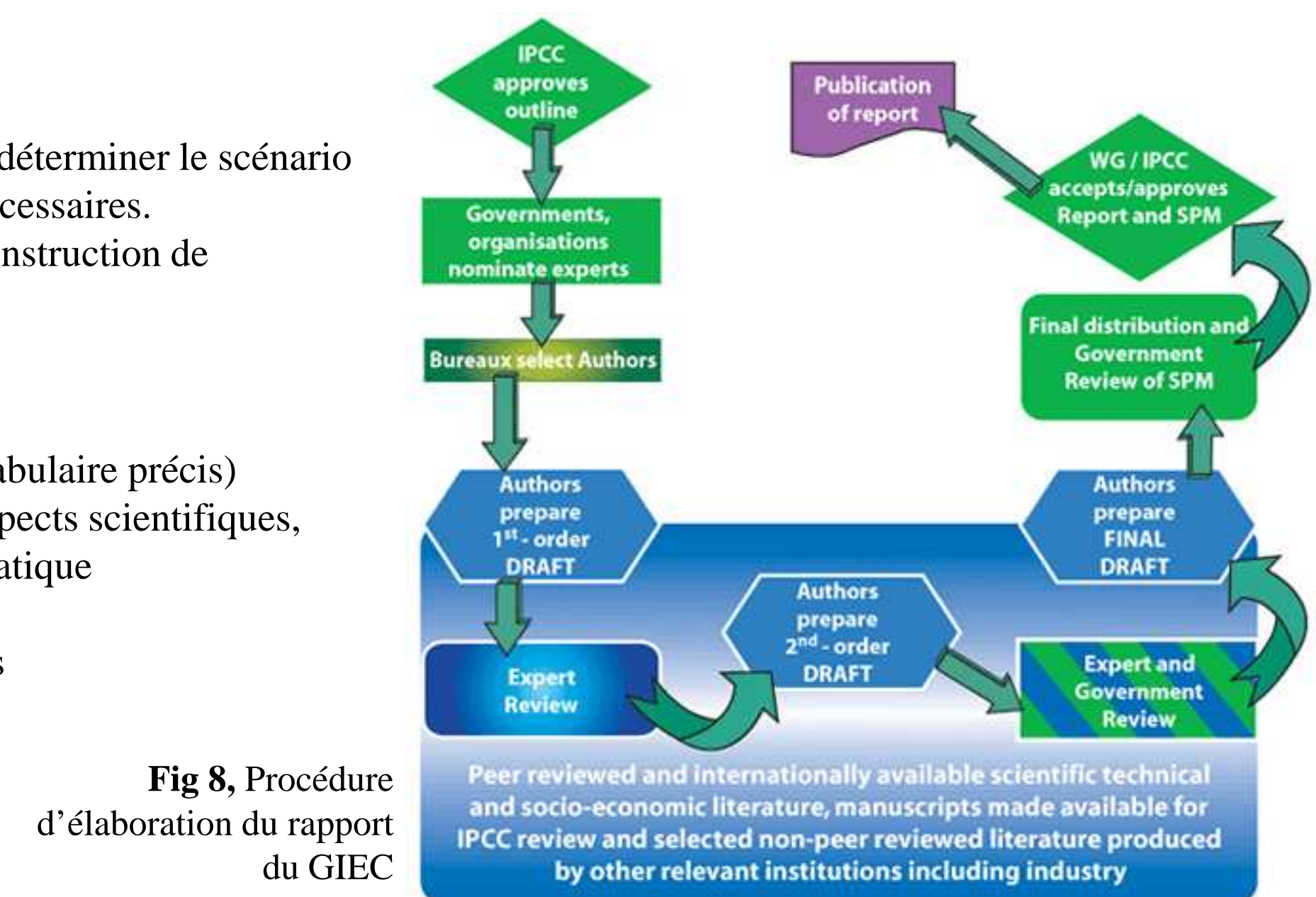


Fig 8. Procédure d'élaboration du rapport du GIEC

CONCLUSION

AIE et GIEC sont deux organismes chargés de créer des modèles dont les résultats doivent aider les politiciens dans leur prise de décision. L'AIE adopte une approche centrée sur l'efficacité énergétique et ancrée dans la dimension économique, tandis que le GIEC se préoccupe principalement du changement climatique (bien que le groupe 4 élabore des modèles semblables à ceux de l'AIE). Les résultats de l'AIE n'ont pas vocation à être probabilisés, bien que la nature même des données implique des incertitudes. L'AIE ne semble pas vouloir laisser la possibilité de discuter ses résultats, alors que les documents émanant du GIEC sont soumis à révision, et résultent d'un consensus. Notre étude de cas met en évidence des différences notables dans l'approche de modélisation, de récolte, de traitement des données et de production des résultats. Nous nous sommes intéressés au cas du traitement des incertitudes dans le cadre des modèles du GIEC; ces informations n'ont pas été obtenues pour l'AIE, qui n'est pas dans cette démarche.

En terme de gouvernance, l'influence potentielle des organismes diffère aussi : des questions de légitimité, de traitement objectif des données, de représentativité se posent.

Sources:

- GHG Targets as Insurance Against Catastrophic Climate Change, M. L. Weitzman.
- N. Stern, Cours au Collège de France, Février 2010.
- Extrait du 4^{ème} rapport du GIEC, résumé technique (2007).
- Sustainable development and spatial inhomogeneity, G. Weisbuch and Y. Louzoun., 2011.

- GIEC, Introduction aux modèles climatiques simples, 1997.
- AIE, World Energy Outlook, 2010.
- AIE, A Hybrid Modelling Framework to Incorporate Judgment in Integrated Economic and Energy Models – The IEA WEM-ECO model, 2008.
- AIE, World Energy Model – Methodology and Assumptions, 2010.
- Site de l'AIE : <http://www.iea.org/>
- Site du GIEC : <http://www.ipcc.ch/index.htm>