



Rencontres Philosophie et Décisions sur le Changement
Climatique et l'Environnement
La Baume, Aix en Provence, 1-3/12-2008.

Sensibilité climatique et fusion d'experts

Minh Ha-Duong

1. Introduction

La sensibilité climatique $\Delta T_{2\times}$ c'est:
le réchauffement global moyen causé par un doublement de la concentration atmosphérique de CO₂.

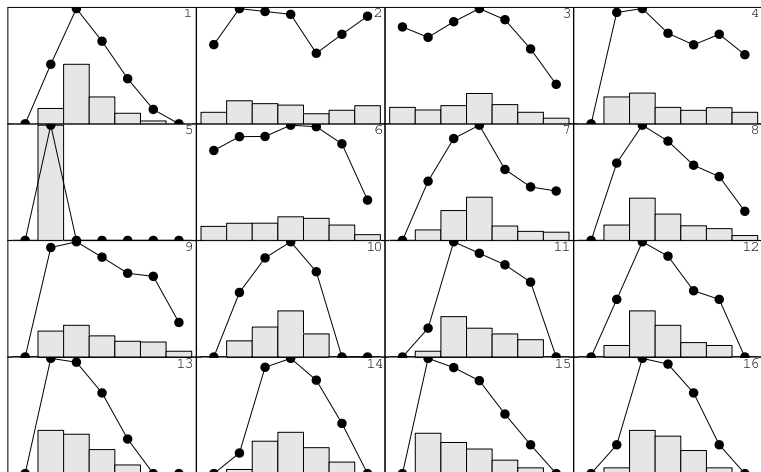
Socialement, c'est aussi une ancre de communication imprécise.

Publications de lois de probabilités subjectives et (plus récemment) objectives. Entre 1.5°C et 4.5°C ou plus?

Morgan et Keith (1995), subdivisé en 7 intervalles:

$$\begin{aligned}\Omega &= \{\omega_1, \dots, \omega_7\} \\ &= \{[-6, 0], [0, 1.5], [1.5, 2.5], [2.5, 3.5], [3.5, 4.5], [4.5, 6], [6, 12]\}\end{aligned}$$

Controverses: tout est possible {2,3...},
réchauffement {4...}, voix médiane {1...},
pas de problème {5}



Problèmes de fusion des opinions d'experts

- ▶ Non indépendance → Attention à la fausse précision
- ▶ Contradiction totale des opinions
- ▶ Eviter l'*argumentum ad populum*: (science valide \neq vote démocratique)
- ▶ Peut-on jauger les experts ?

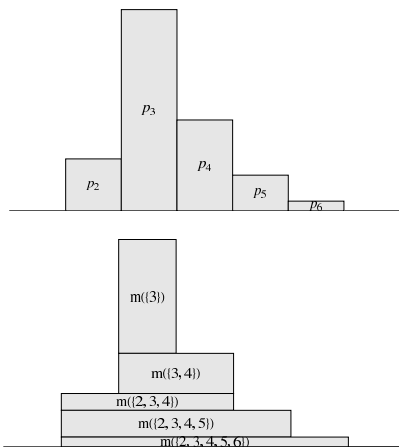
Proposition: une approche hiérarchique

- i. Partitionner les experts en groupes/écoles/théories
- ii. Intra-groupe, conjonction prudente des opinions
- iii. Entre les groupes, disjonction

Plan

1. Introduction (faite)
2. Le modèle des croyances transférables
3. L'aggrégation hiérarchique des opinions d'experts

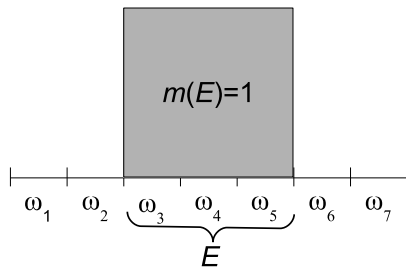
2. On représente un état de croyance en répartissant une masse totale unitaire entre tous les sous ensembles A de Ω



m telle que
$$\sum_{A \subset \Omega} m(A) = 1$$

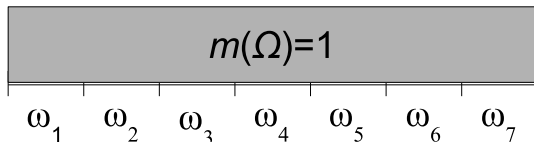
Croyances catégoriques: la fonction indicatrice E^∞

Exemple: "La sensibilité climatique est dans $[1.5, 4.5^\circ\text{C}]$."

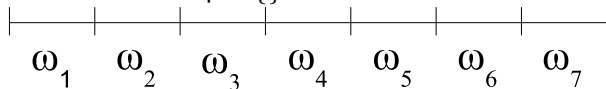


Croyances catégoriques particulières

Croyance vide, pas d'information Définie par Ω^∞ .

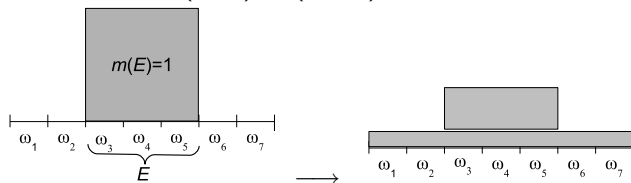


Confusion, trop d'information Définie par $\{\}^\infty$.



Doute et croyance simple

On ajoute un doute r à une croyance m en la mélangeant avec les croyances vides: $\text{doute}(m, r) = (1 - r)m + r\Omega^\infty$

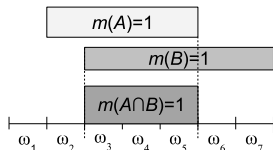


“L'état du monde est E , avec un degré de confiance s ” :

$$E^s = \text{doute}(E^\infty, e^{-s}) \quad (1)$$

Conjonction et disjonction des croyances

Quand deux sources d'information fiables disent l'une A et l'autre B , on croit en l'intersection de A et B (même vide):



$$A^\infty \odot B^\infty = (A \cap B)^\infty$$

Plus généralement:

$$(\mu_1 \odot \mu_2)(A) = \sum_{B \cap C = A} \mu_1(B) \mu_2(C)$$

Quand au moins l'une des sources est fiable, on considère l'union des opinions:

$$(\mu_1 \oplus \mu_2)(A) = \sum_{B \cup C = A} \mu_1(B) \mu_2(C)$$

Décomposition en croyances simples

Pour tout m tel que $m(\Omega) > 0$, il existe des poids $(s(A))_{A \subseteq \Omega}$ tels que:

$$m = \bigodot_{A \subseteq \Omega} A^{s(A)} \quad (2)$$

Faire la conjonction \odot revient à additionner les poids:

$$m_1 \odot m_2 = \bigodot_{A \subseteq \Omega} A^{s_1(A)+s_2(A)} \quad (3)$$

La conjonction \bigodot augmente le degré de confiance: $A^s \odot A^s = A^{2s}$.

Acceptable pour fusionner des sources d'informations indépendantes,
mais injustifié pour des experts qui interagissent.

Combinaison prudente de T. Denœux's

Quand...

Expert 1 croit avec confiance $s_1(A)$ que l'état du monde est dans A

Expert 2 a le degré de confiance $s_2(A)$

...on adopte l'opinion du plus confiant:

$$m_1 \textcircled{\wedge} m_2 = \bigcap_{A \subseteq \Omega} A^{\max(s_1(A), s_2(A))} \quad (4)$$

Distributivité: $(m_1 \textcircled{\cap} m_3) \textcircled{\wedge} (m_2 \textcircled{\cap} m_3) = (m_1 \textcircled{\wedge} m_2) \textcircled{\cap} m_3$

Interpretation:

Expert 1 croit $m_1 \textcircled{\cap} m_3$

Expert 2 croit $m_2 \textcircled{\cap} m_3$

La combinaison prudente $\textcircled{\wedge}$ ne compte l'évidence m_1 qu'une fois.

3. Fusion: pas d'opérateur satisfaisant

	Moyenne	\oplus, \cap	\wedge	\cup
Majoritarisme	☹	✓	✓	✓
Contradiction	✓	☹	☹	✓
Fausse précision	✓	☹	✓	☹

Discounting diminue le problème de la contradiction,
mais comment calibrer les experts?

Fusion hiérarchique

1. Grouper les experts en école de pensée (méthodes adaptative ou sociologique)
2. Dans chaque groupe, combinaison prudente $\hat{\wedge}$
3. Entre les théories, disjonction $\hat{\cup}$

Avec les climatologues:

$$m_A = m_2 \hat{\wedge} m_3 \hat{\wedge} m_6$$

$$m_B = m_4 \hat{\wedge} m_7 \hat{\wedge} m_8 \hat{\wedge} m_9$$

$$m_C = m_1 \hat{\wedge} m_{10} \hat{\wedge} \dots \hat{\wedge} m_{16}$$

$$m_D = m_5$$

$$m = m_A \hat{\cup} m_B \hat{\cup} m_C \hat{\cup} m_D$$

Tout est possible

Réchauffement

Voie moyenne

Pas de problème

Probabilité et plausibilité

Tout m définit une probabilité p^m par:

$$p^m(\omega_i) = \sum_{X \ni \omega_i} \frac{m^*(X)}{|X|}$$

où $|X|$ dénote le nombre d'éléments de X .

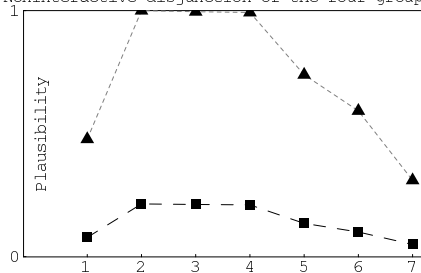
Tout m définit une fonction de plausibilité pl , dont la valeur sur les singletons est:

$$pl(\{\omega_i\}) = \sum_{X \ni \omega_i} m(X) \quad (5)$$

Les niveaux de probabilité sont généralement inférieurs aux niveaux de plausibilité.

Resultats: fusion des 16 experts sur $\Delta T_{2\times}$, MK 1995

Noninteractive disjunction of the four groups.



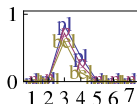
Simple distributions associated with the result BBA:

- ▲----- q on singletons
- Pignistic probability

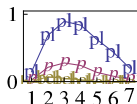
i	1	2	3	4	5	6	7
ω_i	-6,0	0,1.5	1.5,2.5	2.5,3.5	3.5,4.5	4.5,6.0	6.0,12
pl	0.48	1.	1.	0.99	0.74	0.59	0.31
p^m	0.08	0.21	0.21	0.21	0.14	0.10	0.05

Fusion symétrique / Hierarchique

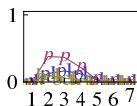
disc. Dempster



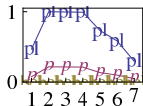
Averaging



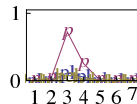
disc. Cautious conj.



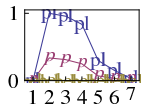
Hierarchical



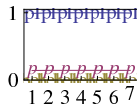
disc. niConj.



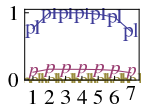
Hierarchical 3-way



niDisjunction



Average within



La croyance que $\Delta T_{2x} < 1.5^\circ\text{C}$ a diminué depuis 1995

IPCC 2001: Climate sensitivity is likely to be in the 1.5 to 4.5°C range (unchanged from 1979).

	$T_{2x} \in [0^\circ\text{C}, 1.5^\circ\text{C}]$	$[1.5^\circ\text{C}, 4.5^\circ\text{C}]$	$[4.5^\circ\text{C}, 10^\circ\text{C}]$
PDF Littérature	[0, 0.07]	[0.31, 0.98]	[0.02, 0.62]
Kriegler (2005)	[0, 0.00]	[0.53, 0.99]	[0.01, 0.47]

Table: Intervalles de probabilité pour la sensibilité climatique.

IPCC 2007: [2, 4.5°C] is likely, below 1.5°C is very unlikely.

Note:

Likely means $0.66 \leq p \leq 0.90$,

very unlikely means $p \leq 0.1$.

Conclusions

Sur la méthode:

- ▶ Approche hiérarchique originale, accepte l'imprécision
- ▶ Répond aux défis méthodologiques
- ▶ Modélisation sociologique du groupe d'experts

Sur la sensibilité climatique:

- ▶ Au dessus de 4.5 déjà plausible en 1995
- ▶ En dessous de 1.5 moins plausible aujourd'hui

Critère de décision standard.

A partir de ce qu'on croit m , on définit la probabilité p^m , puis on maximise l'espérance de l'utilité.

Critère de décision nonadditifs

Il s'agit de pondérer la probabilité avec la possibilité et la nécessité.

Les croyances m définissent une mesure de plausibilité $pl(X)$ (notion de possibilité, X peut arriver), mais aussi une mesure de croyance (notion de nécessité, X doit arriver):

$$pl(X) = \sum_{A \subset \Omega, A \cap X \neq \emptyset} m(A)$$

$$bel(X) = 1 - pl(\bar{X})$$

Critère de décision incomplet

L'incertitude c'est quand les probabilités ne sont pas précisément définies. A chaque probabilité admissible correspond un choix maximal.

Ensemble des probabilités admissibles:

$$M = \{p : \forall X \text{ bel}(X) \leq p(X) \leq pl(X)\}$$