

# Impacts des chocs climatiques sur la performance des entreprises françaises, et leurs stratégies d'adaptation

Tiphaine Guillet

CERNA - Mines Paristech

May 16, 2022

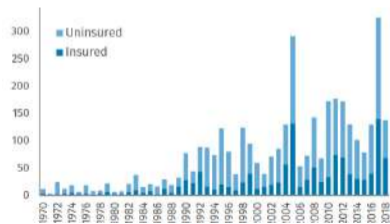
# Motivations

## Pourquoi c'est important?

- GIEC 2022 : changement climatique accentue intensité, durée et fréquence des événements extrêmes
- Evaluation des dommages économiques :
  - 500Mds€ en Europe pour la période 1980-2020 (EEA)
  - 1,5Mds/an (+35%) d'ici 2050 en France (CCR)
- Problèmes d'assurance
- Adaptation des populations pour atténuer les effets

**Figure 1:** Estimation du coût global des événements climatiques extrêmes par les assureurs.

(Mds€)



Source : Rhodium (données : SwissRe)

# Table des matières

1. Motivation et contexte
2. Données
3. Cartographie des risques physiques climatiques
4. Stratégie économétrique
5. Conclusion

# Table des matières

- 1. Motivation et contexte
- 2. Données
- 3. Cartographie des risques physiques climatiques
- 4. Stratégie économétrique
- 5. Conclusion

# Qu'est ce que le climat?

- **Météo** : tirage aléatoire d'une distribution climatique ; déviation par rapport à la moyenne ; par nature transitoire
- **Climat** : distribution statistique d'événements météorologiques pour une période donnée et une localisation géographique ; dans la pratique: moyenne sur 30 ans ; permanent.

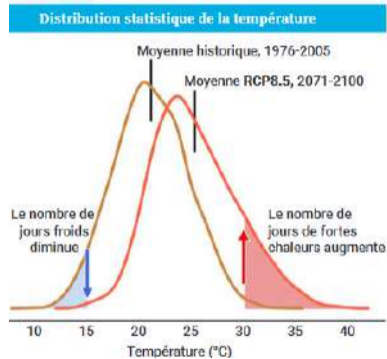


Figure 2: Distributions statistiques des températures quotidiennes en conditions climatiques actuelles (marron) et futures (rouge). Source : DRIAS

# Qu'est ce que le climat? enjeux d'identification

## Enjeux :

- Peut-on inférer un climat à partir d'observations météorologiques ? Traduction du climat en risques climatiques ?
- **Un changement météorologique permet-il de correctement identifier un changement climatique ?**

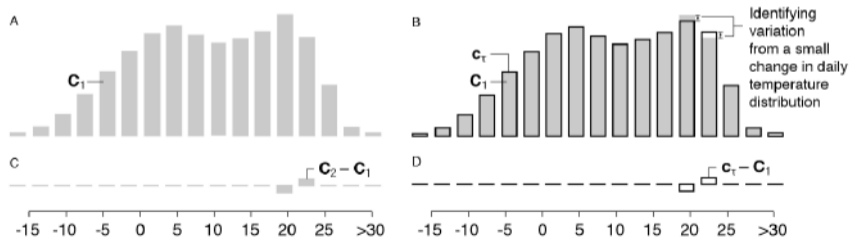


Figure 3: Illustration de l'hypothèse de comparabilité marginale de traitement *Source: Hsiang (2016)*

# Evolution future du climat : France et monde

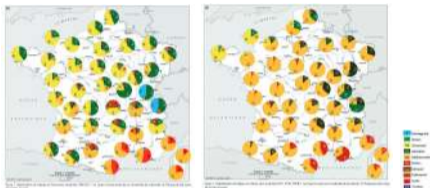


Figure 4: Classification de Köppen pour la période 1958-1987 (gauche) et la période 2071-2100. Source: Dubreuil 2021

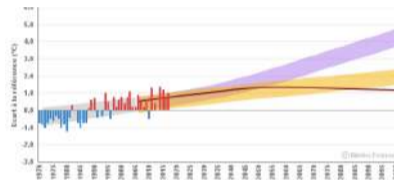


Figure 5: Température annuelle moyenne en France (écart à la référence 1976-2005). Observations et simulations climatiques (RCP 2.6, 4.5 et 8.5)

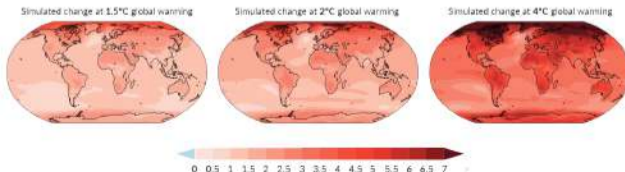


Figure 6: Changement annuel moyen de température (°C) relatif à la période 1850-1900. Source: AR6, GIEC

# Littérature

- Large spectre des dommages climatiques : santé et risques de mortalité, guerre civile et conflits, criminalité, conséquences économiques, production agricole etc. (Dell 2014, Carleton Hsiang 2016)
- Economie: majoritairement quantifié à un niveau agrégé (PIB), aux Etats-Unis et dans les pays émergents. Variables macro-économiques peu impactées dans les pays développés (Dell 2012, Hsiang 2017)
- Focus plus récent sur les entreprises, canaux privilégiés : effet physiologique de la température, répercussions des effets agricoles sur l'industrie et demande réduite (Addoum 2019, Pankratz 2021a)
- Niveau entreprise : effets non-linéaires et saisonniers (Addoum 2021)
- Adaptation : liaisons chaîne d'approvisionnement, relocalisation etc. (Pankratz 2019b, Nedoncelle 2021)



# Dommages économiques du changement climatique

$$\text{Impacts climatiques} = \text{Impacts directs} + \text{Actions basées sur les perceptions du climat} \quad (1)$$

$$\text{Coût Economique Net} = \underbrace{\text{Coût d'Equilibre}}_{\text{coût d'adaptation} + \text{impacts marginaux résiduels}} + \text{Coûts d'Ajustement} \quad (2)$$

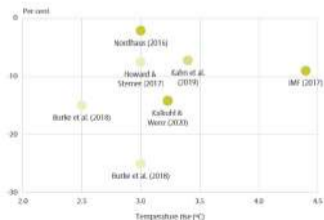
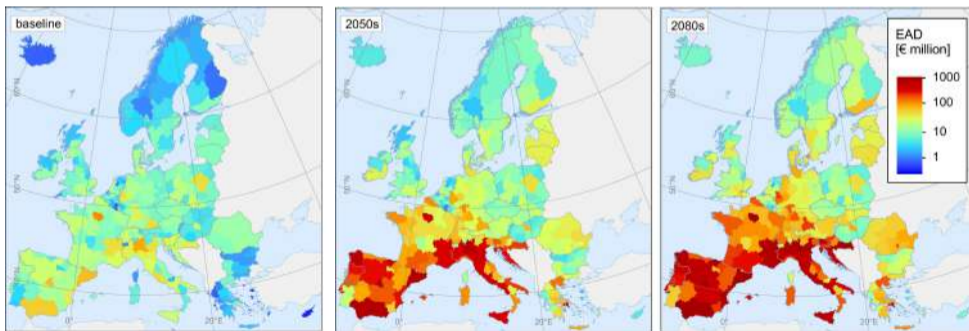


Figure 7: Estimation des pertes de PIB dues à un réchauffement global à travers la littérature (source : NFGS)

# Dommmages économiques projetés du changement climatique

**Figure 8:** Impacts économiques du changement climatique (vagues de chaleur et de froid, sécheresses, feux, inondations, tempêtes) sur les infrastructures critiques européennes (transport, énergie, industries et infrastructures sociales critiques).



Source: Forizeri (2018)

# Adaptation

Définition : interactions entre croyances et effets directs, et effets de croyance (Hsiang 2018)

*Exemple* : Climatisation des entreprises

Décisions d'adaptation impactés par les effets de la météo présente, passée et future

- ex-post ou réactive
- adaptation ex-ante ou anticipatrice
- incrémentales
- transformatrice (cf. GIEC)

Agents anticipateurs : compromis intertemporels entre des actions qui sont des substituts intertemporels ou complémentaires

- difficulté à isoler l'impact marginal net du climat à cause de l'adaptation (et dur à quantifier également!)

# Impacts du changement climatique sur les entreprises et stratégie d'adaptation

- Impacts sur les facteurs de production : capital, travail, intrants & opérations
- Impacts en cascade à travers la chaîne de valeur et répercussions dues aux interdépendances sectorielles et internationales
- Adaptation : investissements, relocalisation des activités, gestion du temps plus flexible, innovation technologique etc.
- Barrières : coût investissement, staff compétent, incertitudes technologiques, incertitudes climatiques etc.



# Table des matières

- 1 1. Motivation et contexte
- 2 2. Données
- 3 3. Cartographie des risques physiques climatiques
- 4 4. Stratégie économétrique
- 5 5. Conclusion

# Modèles et bases de données climatiques

## Modélisation climatique & projections :

- Scénario d'émissions de GES (RCP) et MACG (CMIP6 - GIEC)
- Régionalisation des modèles : projet Euro-CORDEX
- Correction des données : biais et descente d'échelle statistique
- Cartographie : résolution des simulations France (12,5kmx12,5km) ; Monde (50kmx50km)

## Observations historiques :

- Stations de mesure, maillage, données satellites, données réanalysées
- Projet économétrique : données réanalysées SAFRAN (Météo France), ERA5-interim, UERRA (12,5kmx12,5km)

Limites : incertitude statistique inconnue & erreurs de mesure

# Indicateurs de risques climatiques

- Variables climatologiques de base : température, précipitations, humidité etc. disponibles au pas de temps journaliers
  - Corrélations entre variables climatiques : besoin d'indicateurs synthétiques plus complexes pour évaluer les risques d'événements "mixtes"
  - Indicateur spécifique suivant le risque à évaluer (ex : WBGT)
  - Indicateur en fréquence et en intensité
- Aggrégation économique des variables climatiques



# Base de données entreprises

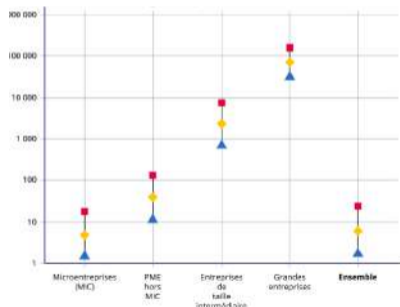
- FARE-FICUS (INSEE) : liasses fiscales & sondages supplémentaires (dispositif ESANE).
  - Données individuelles soumises au secret statistique ;
  - Bdd exhaustive et granulaire (2M observations/an) : toutes les entreprises françaises sont observées (données imputées pour les micro-entreprises) ;
  - Unité de mesure : unité légale niveau Siren (définition juridique) qui ne décrit pas une réalité économique ;
  - Caractéristiques : activité principale exercée (nomenclature Naf), code postal du siège sociale, compte de résultats et bilan, catégorie d'entreprises.
- SIRENE (INSEE) : données établissements localisées
- Douanes : données de commerce international en volume (€) par produit à l'échelle individuelle.

# Investissements des entreprises

- Investissements tangibles (construction etc.) avec et sans dépréciation, intangibles (brevets, licences - logiciels, bdd etc.) et financiers
- Part d'investissement : GE (100%), ETI (98%), PME (90%) et micro (50%)

	Investissements corporels	Valeur ajoutée HT	(%) Taux d'investissement
Industrie	62,9	305,2	20,6
<i>dont industrie manufacturière</i>	37,4	256,1	14,6
<i>dont agroalimentaire</i>	8,3		
<i>dont fabrication matériels de transport</i>	6,1		
<i>dont équipements électriques, électroniques et machines</i>	4,2		
<i>dont métallurgie</i>	4,1		
<i>dont énergie</i>	19,4		
Activités immobilières	39,5	43,9	90,0
Transports et entreposage	24,7	88,1	28,0
Commerce de gros et de détail	23,2	216,3	10,7
Construction	9,9	99,4	10,0

**Table 1:** Investissements en Mds€ en 2018. *Source : INSEE - ESANE*



**Figure 9:** Dispersion de l'investissement des entreprises ayant investi en 2018, en k€ (échelle log).

# Table des matières

- ① 1. Motivation et contexte
- ② 2. Données
- ③ 3. Cartographie des risques physiques climatiques**
- ④ 4. Stratégie économétrique
- ⑤ 5. Conclusion

# Entreprises et risques climatiques : mécanisme et transmission



Figure 10: Chaîne d'impact des risques climatiques sur la performance économique des entreprises.

# Structure de risque suivant le GIEC

$$\text{Risque} = \underbrace{\text{Risque Climatique}}_{\text{(Probabiliste)}} * \underbrace{\text{Exposition}}_{\text{(suivant localisation)}} * \underbrace{\text{Vulnérabilité}}_{\text{sensibilité + capacités adaptatives}} \quad (3)$$

- Sensibilité dépend des caractéristiques propres des actifs (matériaux et design, connectivité, usage des sols, horizon temporel, élévation, inventaires), des ressources (intensité énergétique, en eau etc.), des limites technologiques, de la flexibilité de la chaîne de valeur etc.
- Capacités adaptatives : ressources financières, structure de financement etc.

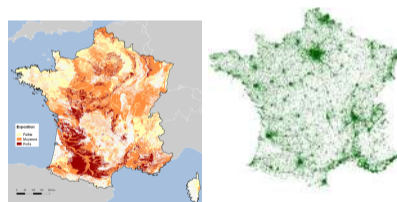


Figure 11: Mesure de l'exposition en superposant cartographie risque RGA (*Géorisques*) et emplacement des établissements. (*Données INSEE*)

# Moyens d'adaptation des entreprises

	Secteur	IMPACTS DIRECTS	ADAPTATION
<b>Vagues de chaleur</b>	Immobilier/tertiaire	Confort (ICU) et baisse de productivité	Climatisation passive ou AC
	Industrie	Perte d'efficacité de processus industriels	Climatisation ou investissement R&D
	Construction	Baisse de productivité et incapacité à travailler	Changement de calendrier de travaux
	Transport	Fonte asphalte et flambage des rails	Investissement dans matériaux plus résistants à la chaleur
	Agriculture	Baisse des rendements agricoles	Assurances
	Energie	Baisse efficacité PV et centrales électriques	Refroidissement par la mer, systèmes d'irrigation
<b>Sécheresses</b>	Immobilier/tertiaire	RGA, interruption approvisionnement eau	Infrastructures de rétention d'eau
	Industrie	Fraglisation des infrastructures (RGA)	Relocalisation, renforcement
	Construction	Sols inconstructibles	Analyse de risque au préalable
	Transport	Faible niveau fluvial, incapacité à naviguer	Diversifier chaîne approvisionnement, privilégier trains
	Agriculture	Pertes de rendements agricoles	Assurances, irrigations, cultures de couvert
	Energie	Système de refroidissement, dommages pipelines	Réservoirs, système fermé de refroidissement
<b>Inondations</b>	Immobilier/tertiaire	Corrosion du réseau IT, dommages	Augmentation perméabilité du sol
	Industrie	Domages aux infrastructures	Relocalisation, renforcer étanchéité
	Construction	Chantier inondé	Analyse de risque au préalable
	Transport	Trajets obstrués et potentiels dommages	Elevation des routes, construction digues
	Agriculture	Salinisation, lavage du sol, perte de récoltes	Investissement systèmes de drainage, reforestation
	Energie	Domages centrales, lignes électriques, réseaux	Renforcement du réseau, remplacement des matériaux

Figure 12: Exemples d'adaptation des entreprises par secteur aux impacts directs de trois risques climatiques majeurs (vagues de chaleur, sécheresse et inondations). *Adapté de ClimInvest Factsheet.*

# Moyens d'adaptation des entreprises : maladaptation

	Secteur	IMPACTS DIRECTS	ADAPTATION
Vagues de chaleur	Immobilier/tertiaire	Confort (ICU) et baisse de productivité	Climatisation passive ou <b>AC</b>
	Industrie	Perte d'efficacité de processus industriels	<b>Climatisation</b> ou Investissement R&D
	Construction	Baisse de productivité et incapacité à travailler	Changement de calendrier de travaux
	Transport	Fonte asphalte et flambage des rails	Investissement dans matériaux plus résistants à la chaleur
	Agriculture	Baisse des rendements agricoles	Assurances
	Energie	Baisse efficacité PV et centrales électriques	Refroidissement par la mer <b>systèmes d'irrigation</b>
Sécheresses	Immobilier/tertiaire	RGA, interruption approvisionnement eau	Infrastructures de rétention d'eau
	Industrie	Fragilisation des infrastructures (RGA)	Relocalisation, renforcement
	Construction	Sols inconstructibles	Analyse de risque au préalable
	Transport	Faible niveau fluvial, incapacité à naviguer	Diversifier chaîne approvisionnement, privilégier trains
	Agriculture	Pertes de rendements agricoles	Assurances <b>Irrigations</b> , cultures de couvert
	Energie	Système de refroidissement, dommages pipelines	Réservoirs, système fermé de refroidissement
Inondations	Immobilier/tertiaire	Corrosion du réseau IT, dommages	Augmentation perméabilité du sol
	Industrie	Dommages aux infrastructures	Relocalisation, renforcer étanchéité
	Construction	Chantier inondé	Analyse de risque au préalable
	Transport	Trajets obstrués et potentiels dommages	Elevation des routes, <b>construction digues</b>
	Agriculture	Salinisation, lavage du sol, perte de récoltes	Investissement systèmes de drainage, reforestation
	Energie	Dommages centrales, lignes électriques, réseaux	Renforcement du réseau, remplacement des matériaux

Figure 13: Exemples d'actions de maladaptation des entreprises, susceptibles d'accroître les impacts négatifs liés au climat.

# Livrables

Cartographie des risques physiques climatiques des entreprises à moyen (2040-2060) et long terme (2070-2100), pour différents scénarios d'émission de GES (RCP4.5 et 8.5) :

- Indicateur régional et sectoriel multi-critère d'exposition au risque climatique
- Evaluation des dommages économiques
  - Fonction de dommages
  - Synthèse de la littérature



# Table des matières

- 1 Motivation et contexte
- 2 Données
- 3 Cartographie des risques physiques climatiques
- 4 Stratégie économétrique**
- 5 Conclusion

# Adaptations des entreprises aux chocs climatiques

Deux problèmes majeurs :

- Investissements directement liés au climat non observables
- Problème d'endogénéité (simultanéité)

Stratégie : instrumentation avec le climat (exogène) dans une régression en deux étapes

- 1 Identifier la part d'investissement marginal due aux chocs climatiques
- 2 Estimer si les investissements directement liés au climat impactent la performance économique des entreprises

# Spécification économétrique

Modèle de panel :

$$y_{it} = \beta C_{it} + \gamma Z_{it} + \mu_i + \theta_{rt} + \epsilon_{it}$$

- Effet Fixe (EF)  $\mu_i$  absorbe caractéristiques fixes des entreprises
- EF temporel  $\theta_{rt}$  : absorbe tendance générale du changement climatique
- Contrôles variables dans le temps  $Z_{it}$

Variables d'intérêt :

- Variables climatiques pondérées par la localisation des établissements (exposition moyenne sur le territoire français) et par les flux économiques (exposition moyenne aux risques climatiques des pays exportateurs)
- Performance économique des entreprises : CA, REX, revenus, ratios comptables de référence etc.

# Problèmes économétriques

- Erreurs de mesure : problème d'endogénéité et biais d'atténuation
- Biais de sélection : biais du "survivant"
- Délai et déplacement : modèle de lags distribués - effet de niveau ou de croissance ?
- Dynamique de l'investissement : lag de la variable dépendante
- Hétérogénéités (sectorielles, taille, âge, structure de propriété etc.) : interactions des variables endogènes avec un vecteur d'hétérogénéité, ou régressions par sous-groupe
- Non-linéarité : termes quadratiques
- Validité externe pour changement climatique ?

# Table des matières

- ① 1. Motivation et contexte
- ② 2. Données
- ③ 3. Cartographie des risques physiques climatiques
- ④ 4. Stratégie économétrique
- ⑤ 5. Conclusion

