



Geosciences pour une Terre durable

brgm

Changement climatique – Adaptation du métier de géotechnicien

Isabelle HALFON, BRGM

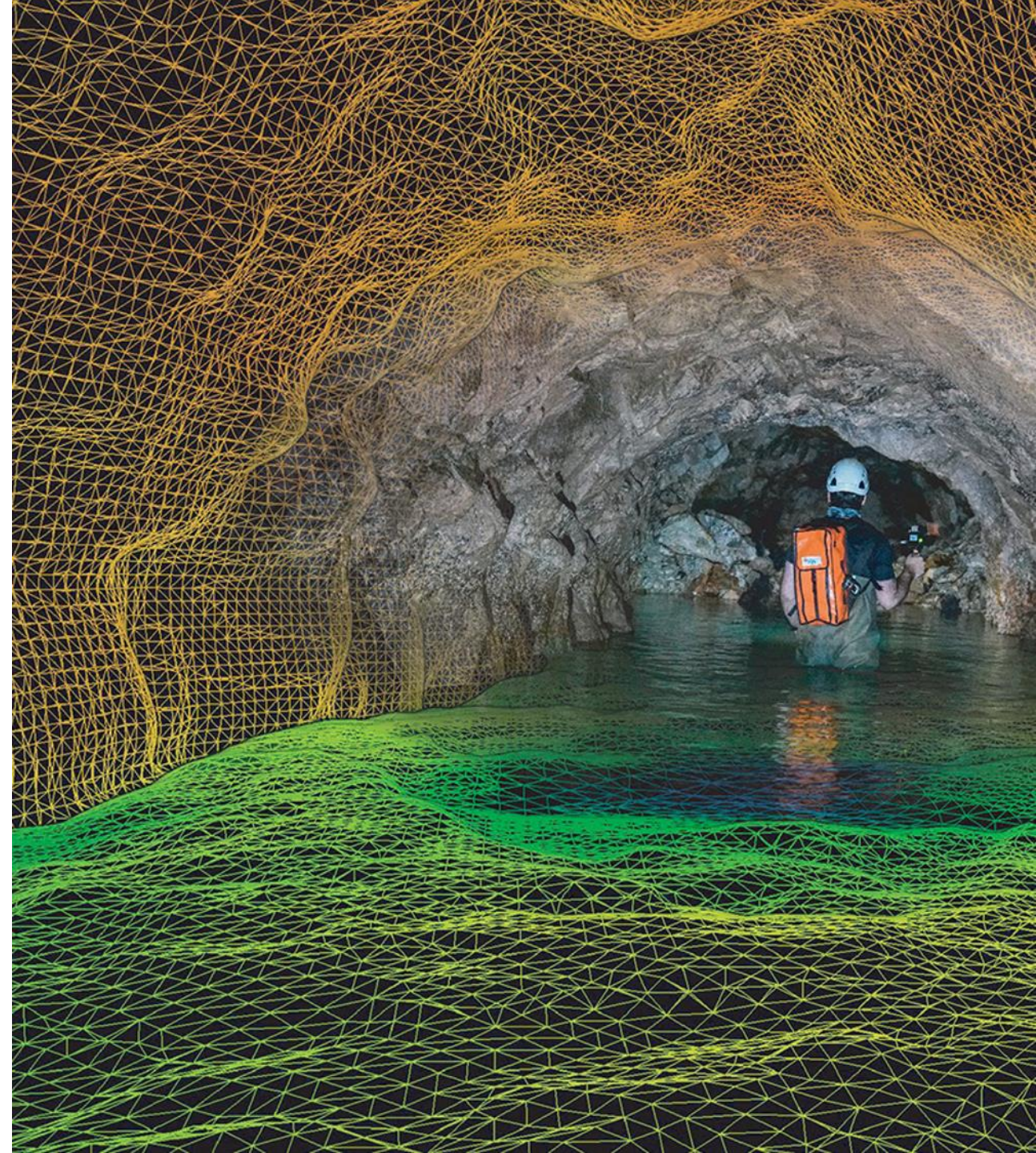


Séance technique du 11/05/2023

Sommaire

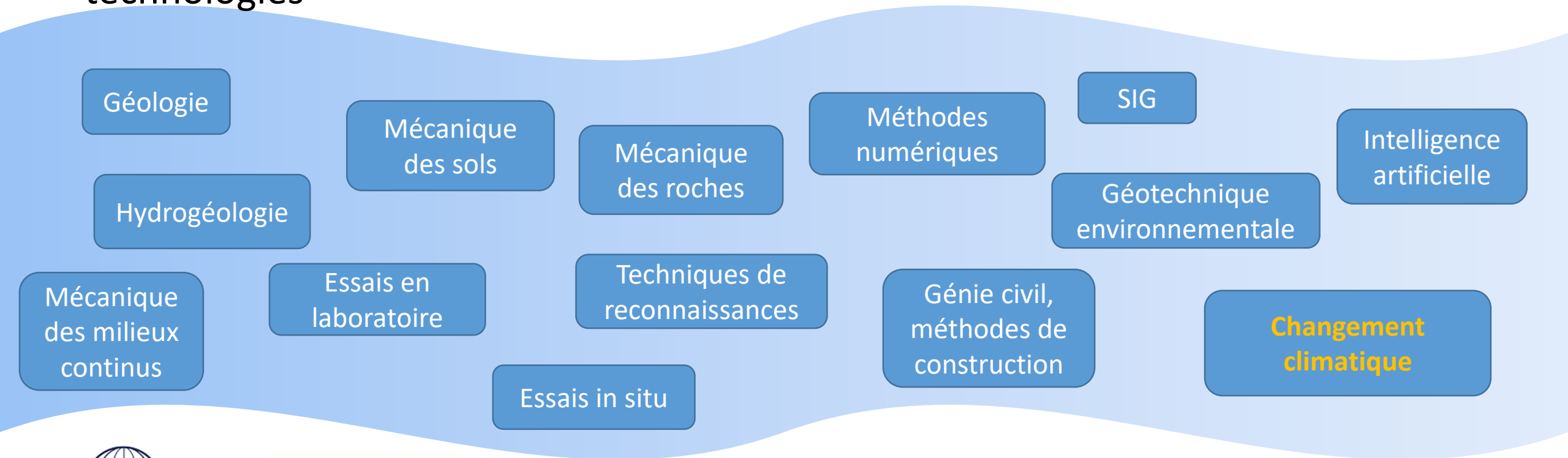
1. La géotechnique : une discipline en constante évolution
2. Le changement climatique
3. Le géotechnicien face au changement climatique
4. Atténuation et adaptation
5. Conclusions : ce qui change dans le métier de géotechnicien

1 - La géotechnique : une discipline en constante évolution



1 - La géotechnique : une discipline en constante évolution

- Le métier de géotechnicien existe depuis le début / milieu du XXème siècle
- Il a déjà beaucoup évolué depuis ses débuts et évolue avec la société et les nouvelles technologies



1 - La géotechnique : une discipline en constante évolution

Le cœur du métier

- Définir et analyser des investigations géotechniques
- Définir le contexte et les hypothèses géotechniques d'un projet
- Concevoir des solutions pour les ouvrages, adaptées au contexte géotechnique
- Justifier les ouvrages géotechniques



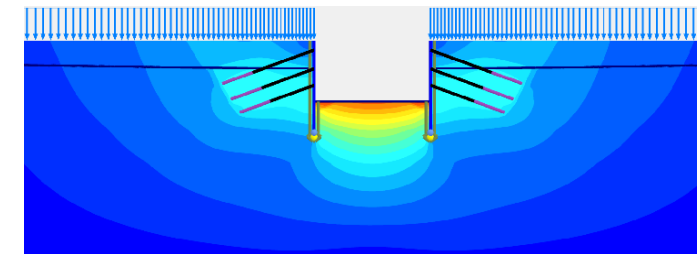
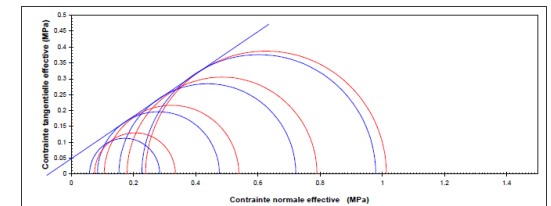
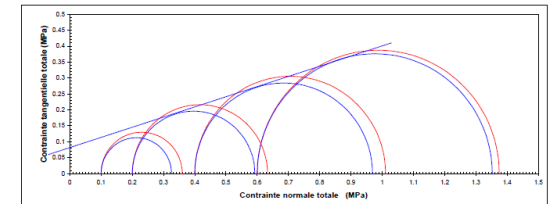
Paramètres initiaux				
	1	2	3	4
U CD (MPa)	0.40	0.40	0.40	0.40
Q' (MPa)	0.60	0.40	0.20	0.10

Paramètres au point de rupture (σ ₁ =σ ₃) _{max}				
σ ₁ (MPa)	0.74	0.81	0.43	0.20
σ ₃ (MPa)	0.40	0.40	0.20	0.10
σ ₁ (MPa)	0.38	0.21	0.08	0.02
σ ₃ (MPa)	0.28	0.48	0.32	0.20
σ ₁ (MPa)	0.38	0.30	0.21	0.10

Paramètres au point de rupture (σ ₁ /σ ₃) _{max}				
σ ₁ (MPa)	0.78	0.86	0.36	0.22
σ ₃ (MPa)	0.4	0.2	0.2	0.0
σ ₁ (MPa)	0.38	0.24	0.10	0.04
σ ₃ (MPa)	0.28	0.43	0.30	0.12
σ ₁ (MPa)	0.37	0.24	0.18	0.11

En contrainte totale	
σ ₁ (MPa)	0.74
σ ₃ (MPa)	0.40
σ ₁ (MPa)	0.38
σ ₃ (MPa)	0.28
σ ₁ (MPa)	0.38
σ ₃ (MPa)	0.30

En contrainte effective	
σ ₁ (MPa)	0.78
σ ₃ (MPa)	0.4
σ ₁ (MPa)	0.38
σ ₃ (MPa)	0.28
σ ₁ (MPa)	0.37
σ ₃ (MPa)	0.24



1 - La géotechnique : une discipline en constante évolution

Critères de conception « classiques »

- stabilité
- limitation des déformations
- économie du projet
- délais / planning
- sécurité lors des travaux

Pourquoi ?

Comment ?

Le changement climatique va impacter le contenu des missions, les caractéristiques des ouvrages, les méthodes et matériaux de construction et les critères de dimensionnement

2 – Le changement climatique

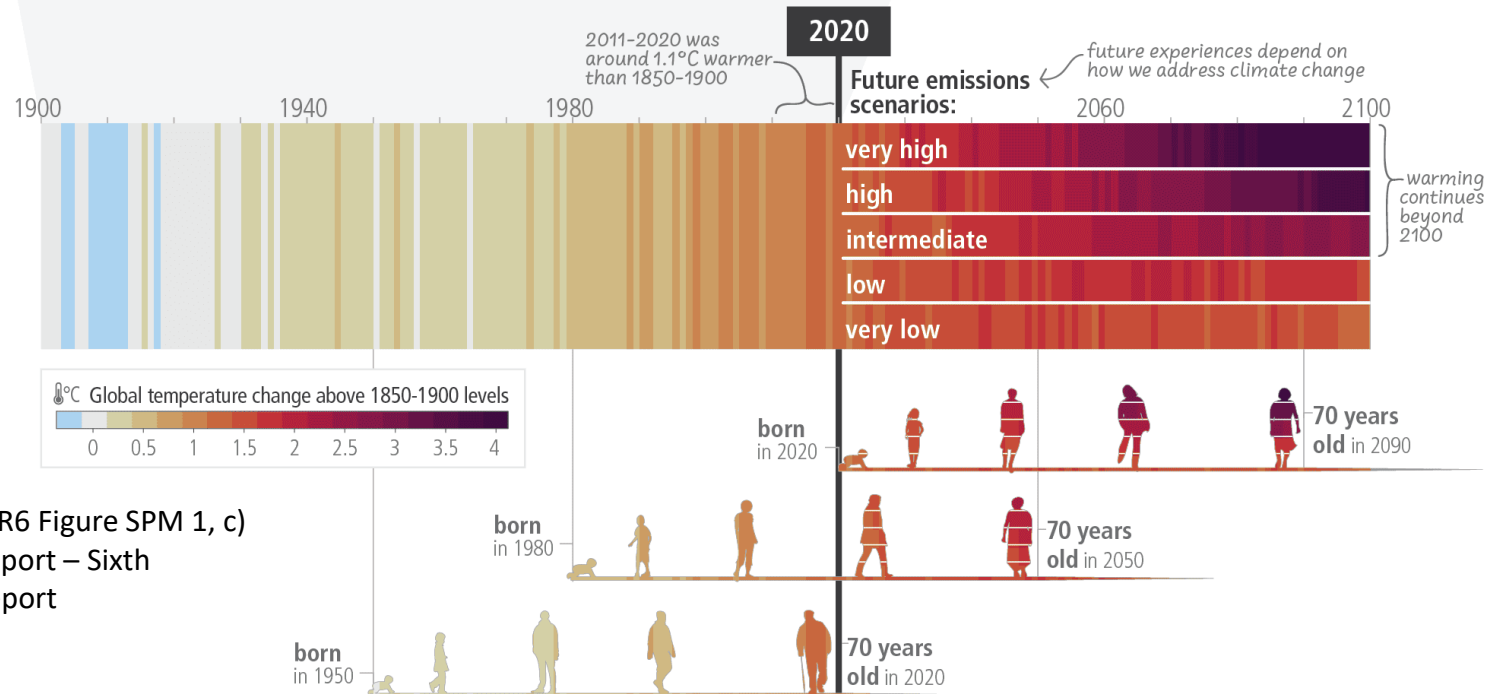


Source IPCC, 2019

2 - Le changement climatique

Evolution du climat sur une très courte période (150 ans), sans équivalent à l'échelle humaine

c) The extent to which current and future generations will experience a hotter and different world depends on choices now and in the near-term



Source IPCC AR6 Figure SPM 1, c)
– Synthesis Report – Sixth
assessment report

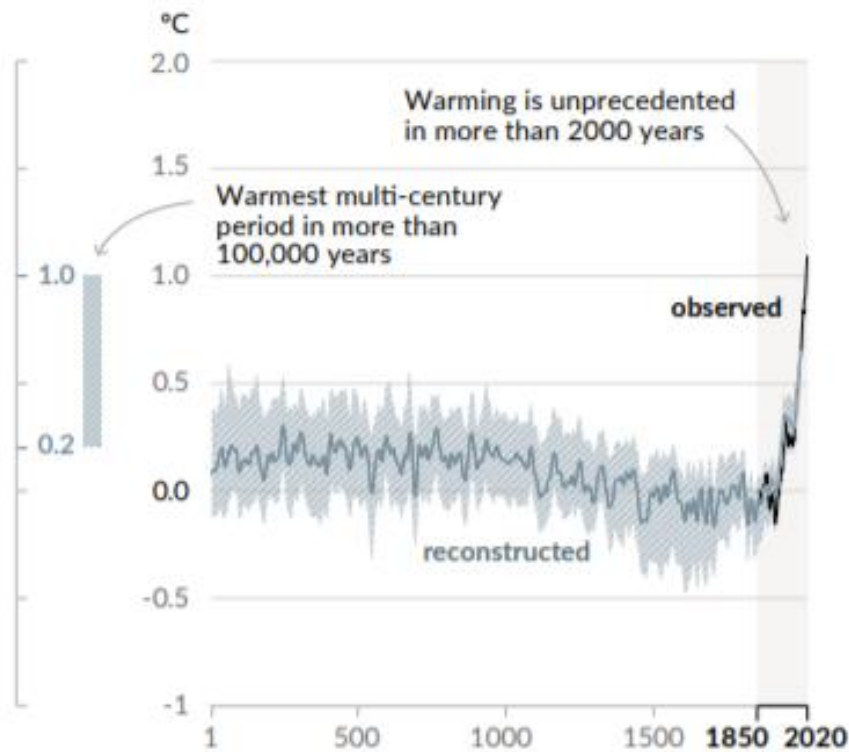
*Augmentation globale
de la température :
+1,1°C en 2020 par
rapport à 1850/1900*

*Projections horizon 2100 :
+1,5 à +4°C, selon les
scénarios d'émission*

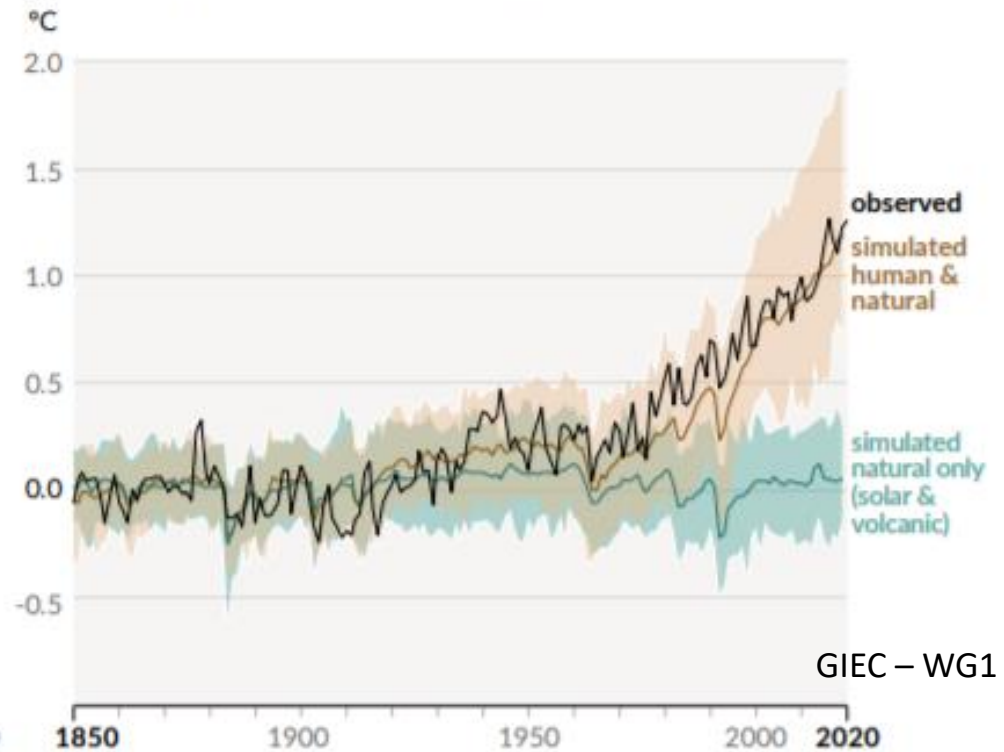
2 - Le changement climatique

Causé par les émissions humaines de GES (gaz à effet de serre) depuis période pré-industrielle

a) Change in global surface temperature (decadal average) as reconstructed (1-2000) and observed (1850-2020)

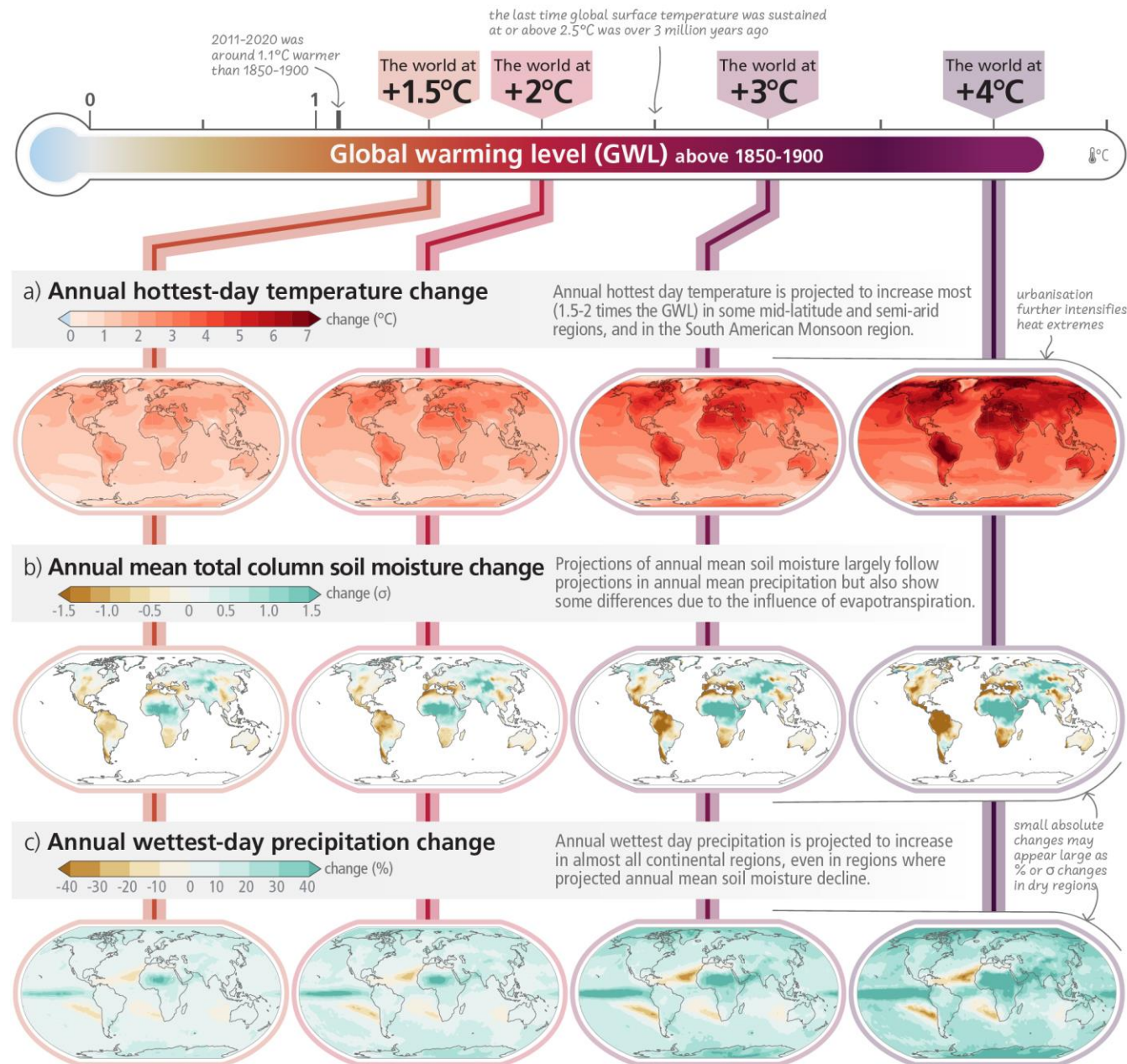


b) Change in global surface temperature (annual average) as observed and simulated using human & natural and only natural factors (both 1850-2020)



GIEC – WG1 – July 2021

With every increment of global warming, regional changes in mean climate and extremes become more widespread and pronounced



Les principaux impacts directs

Augmentation des températures moyennes et maximales.
Forts écarts régionaux

Modification de l'humidité des sols.
Fortes variations régionales

Modification des précipitations,
notamment extrêmes

2 - Le changement climatique

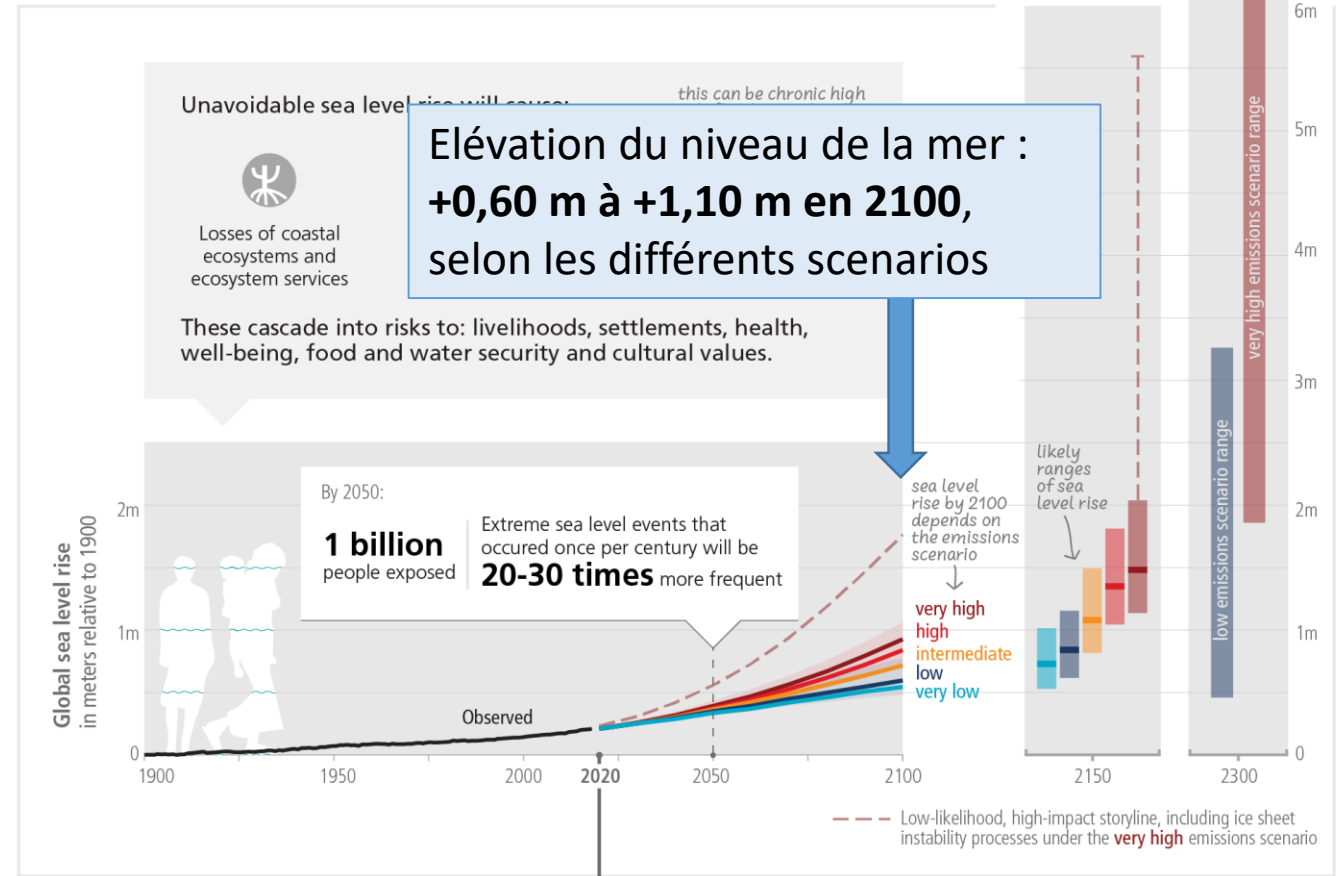
Nombreux impacts indirects ou en cascade

Fonte des glaciers et calottes
polaires

=> élévation du niveau de la mer

Sea level rise will continue for millennia, but how fast and how much depends on future emissions

a) Sea level rise: observations and projections 2020-2100, 2150, 2300 (relative to 1900)



3 – Le géotechnicien face au changement climatique



3 - Le géotechnicien face au changement climatique

Impacts géotechniques

Élévation du niveau de la mer

=> **érosion littorale**

Vague de chaleur

=> **sècheresses**

Feux de forêts, assèchement des sols,
précipitations extrêmes

=> **ruissellement, érosion des sols**

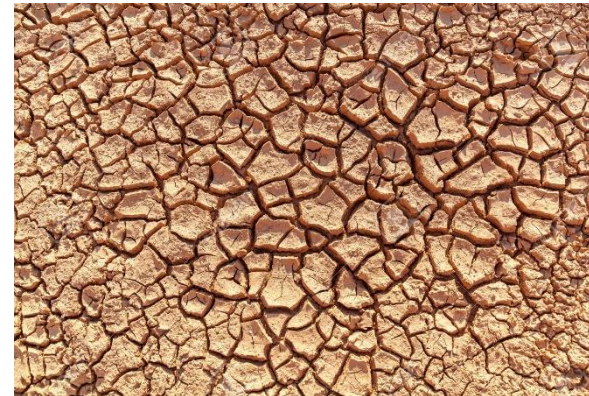
=> **inondations**



Tempête Xynthia, la Faute-sur-mer, 2010



Feu de forêt, Cernon (39) –
08/2022 © BRGM



Assèchement des sols

Le géotechnicien face au changement climatique

Risques naturels

Augmentation du niveau d'aléa ou de l'emprise des aléas

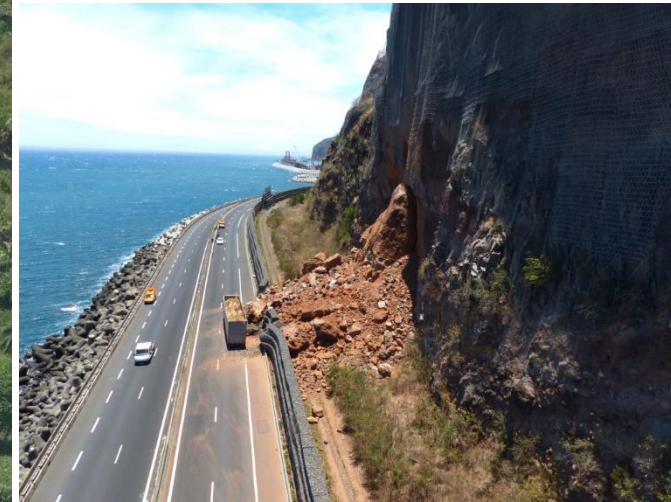
- ⇒ **Retrait-gonflement des argiles**
- ⇒ **Mouvements de terrain : glissements, coulées de boue, chutes de blocs, éboulements**
- ⇒ **Effondrements de cavités souterraines**
- ⇒ **Recul du trait de côte**



Immeuble Le Signal – Soulac-sur-mer
(33)-© BRGM



Glissement de terrain - La Réunion –
2014 © BRGM



Route du Littoral – La
Réunion – 2016 – © BRGM

3 - Le géotechnicien face au changement climatique

- Que peut-on faire en tant que géotechnicien ?
- **Atténuation et Adaptation**
 - **Atténuation** : « Intervention humaine visant à réduire les émissions ou à renforcer les puits de gaz à effet de serre »
 - **Adaptation** : « Démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu ainsi qu'à ses conséquences, de manière à en atténuer les effets préjudiciables et à en exploiter les effets bénéfiques »

Source <https://apps.ipcc.ch/glossary/>

4 – Atténuation et adaptation



4 - Atténuation : comment diminuer les émissions ?

Diminuer les émissions, c'est d'abord savoir les connaître, les évaluer, les comparer

- **Méthode ACV – Analyse du Cycle de Vie** : *« quantifie les impacts environnementaux potentiels causés par un produit, un service ou une décision tout au long de son cycle de vie » - multi-factoriel*
- **Bilan carbone - Eco-comparateurs** :
 - Inventaire des sources d'émission : matériaux, transport, engins de chantier, etc.
 - $\text{CO}_2 \text{ émis} = (\text{Quantité composant}) \times \text{FE (facteur d'émission)}$
 - Il existe différentes bases de données des FE
- **Intérêt de l'évaluation des émissions GES** : mise en évidence des postes à fortes émissions : ciment, acier, transport, ...

4 - Atténuation : comment diminuer les émissions ?

- Il existe actuellement **différents outils Bilan Carbone** et Eco-comparateurs utilisables pour la géotechnique (exemples EFFC, SEVE)
- **Limites des outils existants :**
 - Validité des bases de données (facteurs d'émission)
 - Ne couvrent généralement que les phases de travaux (composants et matériaux d'un ouvrage)
 - Ne couvrent pas tous les ouvrages géotechniques
 - Ne couvrent pas les investigations géotechniques
 - Ne couvrent généralement pas les phases de service (entretien / maintenance / instrumentation) ni la fin de vie

4 - Atténuation : comment diminuer les émissions ?

Les différents leviers

- Investigations géotechniques adaptées au projet
- Dimensionnement optimisé : tout surdimensionnement entraîne des émissions de GES non indispensables
- Utilisation de matériaux alternatifs : béton bas carbone, matériaux recyclés, ...
- Méthodes d'exécution : transports chantier, distance fournisseur, mode fluvial, consommation électrique, etc.
- Entretien / maintenance pour augmenter la durée de service et éviter les réparations lourdes
- Penser à la fin de vie de l'ouvrage : possibilité de recyclage

4 - Atténuation : comment diminuer les émissions ?

- Implication des géotechniciens dans la conception d'ouvrages de production d'énergie renouvelable et décarbonée

- Éoliennes terrestres et offshore
 - Panneaux photovoltaïques
 - Géothermies
 - Nucléaire, EPR
 - Hydro-électricité
- ⇒ connaître ces ouvrages et leurs spécificités
- ⇒ savoir les dimensionner
- ⇒ disposer de référentiels / guides

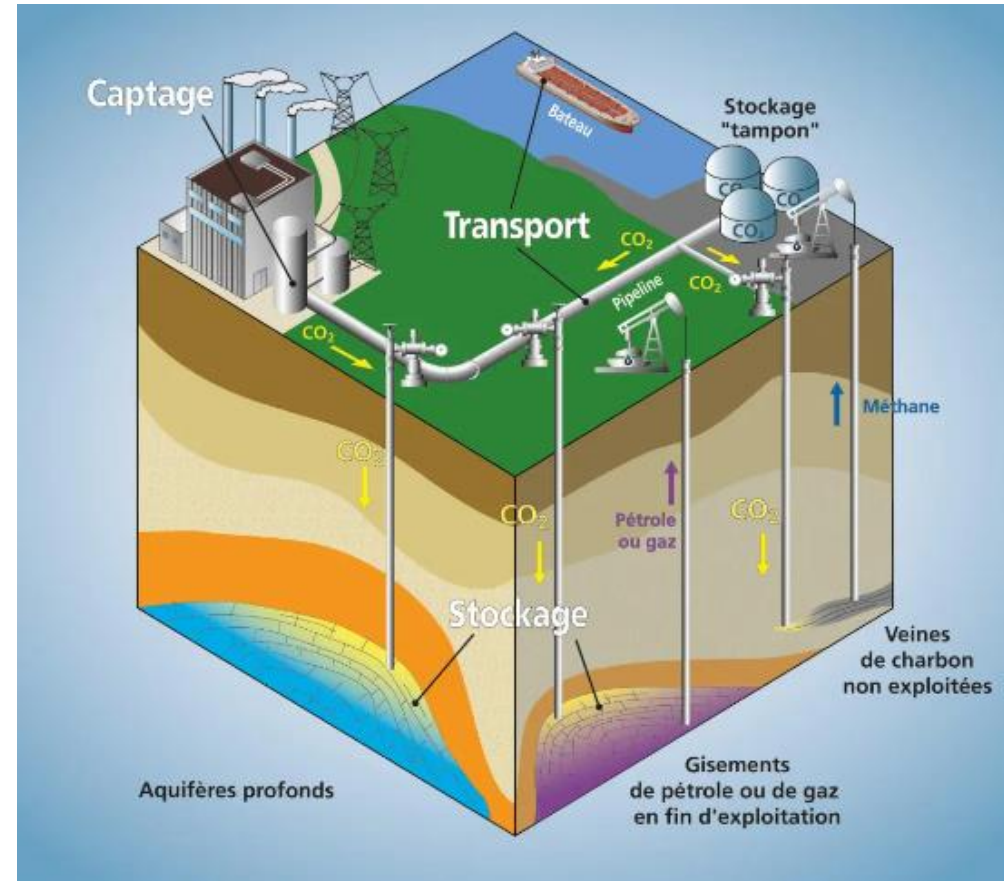


4 - Atténuation : comment diminuer les émissions ?

- Implication des géotechniciens / géomécaniciens dans les solutions de stockage souterrain de CO₂

Schéma des différentes options de stockage géologique du CO₂ dans des aquifères profonds, des gisements de pétrole ou des veines de charbon non exploitées.

© BRGM



4 - Adaptation : comment adapter les ouvrages ?

- Objectifs : **adapter les ouvrages** pour les rendre **plus résilients**
- Les impacts du changement climatique dépendent de la nature des ouvrages et de leur exposition aux effets climatiques
- GT CFMS : 11 familles d'ouvrages ont été définies
 1. Maisons individuelles
 2. Routes, voiries, chaussées, voies ferrées (ouvrages en service)
 3. DigueS fluviales
 4. Pentes naturelles (rocheuses et terrains meubles)
 5. Fondations : superficielles / profondes / dallages
 6. Soutènements yc composants (ancrages, renforcements, etc.)
 7. Ouvrages hydrauliques (rétablissement, buses, dalots) / réseaux
 8. Ouvrages maritimes : quais, terre-pleins, digues, épis, brise-houles
 9. Ouvrages d'art en site aquatique (ponts, viaducs, etc.)
 10. Terrassements (travaux)
 11. Améliorations de sol / sol renforcé (inclusions rigides, ...)

4 - Adaptation : comment adapter les ouvrages ?

- **Ouvrages les plus impactés / exposés :**
 - Maisons individuelles (sècheresses)
 - Ouvrages maritimes (élévation niveau de la mer, submersion)
 - Pentes naturelles rocheuses ou sols meubles (précipitations extrêmes, feux de forêt, glissements de terrain, éboulements, coulées de boue, ...)
 - Ouvrages linéaires (routes, autoroutes)
 - Ouvrages en terre, digues (assèchement des sols, érosion, inondations)
 - Ouvrages fluviaux et fondations des ouvrages en rivière (précipitations extrêmes, crues)
- **Questions en suspens : évolution des règles de calcul ?** quelles sollicitations climatiques considérer à l'avenir ?
- Intérêt des **études de sensibilité** à ces sollicitations

5 – Conclusions : ce qui change dans le métier de géotechnicien



5 - Conclusions : ce qui change dans le métier de géotechnicien

- **Le géotechnicien est un acteur dans le développement durable** (il peut agir sur l'atténuation et l'adaptation)
- **L'évaluation des émissions GES devient un critère de conception** : se l'approprier, l'expérimenter, le comprendre pour connaître les leviers d'optimisation
- **Innovation et utilisation de matériaux bas carbone et recyclés** : les connaître pour savoir les préconiser, rechercher des solutions locales
- **Adaptation** : Tous les ouvrages géotechniques sont concernés
- **Evolution de la réglementation** : prise en compte des effets, nouveaux matériaux : temps long et va au-delà de la géotechnique

5 - Conclusions : ce qui change dans le métier de géotechnicien

- **Importance de la formation initiale ou continue :**
 - **Energies renouvelables** : éoliennes terrestres et offshore, photovoltaïque, géothermie
 - **Démarche ACV** (Analyse du Cycle de Vie)
 - **Démarche Bilan carbone**
 - **Connaissance des matériaux « alternatifs » et recyclés**
 - **Solutions de stockage souterrain du CO2**

Ressources

- **IPCC** The Intergovernmental Panel on Climate Change – Rapports du GIEC : <https://www.ipcc.ch/>
- **DRIAS** Donner accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnement : projections climatiques : <http://www.drias-climat.fr/>
- **EFFC** European Federation of Foundation Contractors <https://www.effc.org/>
- **EFFC** Carbon Calculator : <https://www.effc.org/how-we-operate/eco%e2%82%82-foundations/>