

**GROUPE DE TRAVAIL « Géotechnique, changement climatique
et développement durable »**

REUNION du Sous-Groupe 2 du 03/03/2023 à 10H

Réunion en Visio (Teams)

Compte rendu établi par Isabelle HALFON (présidente du GT)

Copie à Nathalie BORIE (secrétaire du CFMS)

Liste des présents :

Nom	Prénom	Entreprise ou organisme	email	Présent	Absent	Excusé
ARAB	Rabah	HUESKER	rabah.arab@HUESKER.fr	X		
BARBOSA	Alvaro	SOLETANCHE BACHY	alvaro.barbosa@soletanche-bachy.com	X		
BENAHMED	Nadia	INRAE	nadia.benahmed@inrae.fr	X		
BOUSSAFIR	Yasmina	UGE	yasmina.boussafir@univ-eiffel.fr	X		
CHEVALIER	Christophe	UGE	christophe.chevalier@univ-eiffel.fr	X		
CUISINIER	Olivier	Université Lorraine	Olivier.Cuisinier@univ-lorraine.fr		X	
CZABANSKI	Charlotte	SNCF Réseau	charlotte.czabanski@reseau.sncf.fr			X
DELERABLEE	Yvon	TERRASOL	yvon.delerablee@setec.com	X		
DI DONNA	Alice	Université Grenoble Alpes	alice.di-donna@univ-grenoble-alpes.fr		X	
HALFON	Isabelle	BRGM	i.halfon@brgm.fr	X		
HEMMATI	Sahar	UGE	sahar.hemmati@univ-eiffel.fr	X		
IGHIL AMEUR	Lamine	CEREMA	lamine.ighil-ameur@cerema.fr	X		
JAOUEN	Timothée	GINGER / BURGEAP	t.jaouen@groupeginger.com	X		
LAMBERT	Serge	KELLER	serge.lambert@keller.com			X
LEFEBVRE MIGNON	Valérie	Arcadis	valerie.lefebvre@arcadis.com	X		
MAKKI	Lamis	UGE	lamis.makki@univ-eiffel.fr		X	
MEUNIER	Christophe	ALIOS + USG	christophe.meunier@alios.fr			X
MEYER	Grégory	Egis	Gregory.MEYER@egis-group.com	X		
OKYAY	Umur Salih	INFRANEO	us.okyay@infraneo.com	X		
PERLO	Sabrina	CEREMA	sabrina.perlo@cerema.fr	X		

Nom	Prénom	Entreprise ou organisme	email	Présent	Absent	Excusé
RANDRIAMPARANY	Andri	ADP	Andri.RANDRIAMPARANY@adp.fr	X		
SANFRATELLO	Jean-Pierre	COLAS	sanfratello@campus.colas.fr	X		
TANG	Anh Minh	ENPC	anh-minh.tang@enpc.fr	X		
THIERY	Yannick	BRGM	y.thiery@brgm.fr	X		
VASILESCU	Roxana	PINTO GC	rvasilescu@pintogc.com	X		
VUILLERMET	Eric	BRL Ingenierie	Eric.Vuillermet@brl.fr	X		
ZUMBO	Vilma	SYSTRA	vzumbo@systra.com	X		

+ Coline Thibert et Salomé Gautier (élèves de F. Emériault)

1. Ordre du jour

- Accueil de deux nouveaux membres : Rabah Arab (Huesker) et Andry Randriamparany (ADP)
- Présentation de Jean-Christophe Calvet (Météo France)
- Inventaire des effets du chgt climatique par familles d'ouvrages
- Répartition du travail en vue de la prochaine réunion

2. Informations diverses

Accueil de deux nouveaux membres : Rabah Arab (Huesker) et Andry Randriamparany (ADP)

Bibliographie / médias (liens communiqués par Lamine Ighil Ameur) :

- Article intéressant de Ouest-France intitulé : **Quels phénomènes météorologiques extrêmes vont se multiplier avec le réchauffement climatique ?** Lien web de l'article >> <https://www.ouest-france.fr/environnement/rechauffement-climatique/quels-evenements-meteorologiques-extremes-vont-se-multiplier-avec-le-rechauffement-climatique-73cf59f6-6f31-11ed-a2a4-28e0450c61da>
- Interview w d'un climatologue de Météo France sur le média Brut (https://www.linkedin.com/posts/meteo-france_s%C3%A9cheresse-brut-interview-de-simon-mittelberger-activity-7034930300149198850-spf?utm_source=share&utm_medium=member_desktop) où il explique que les 32 jours consécutifs que nous avons connus en France depuis le 21 janvier dernier sans pluie est inédit depuis le début des mesures en 1959 (<https://meteofrance.com/actualites-et-dossiers/actualites/climat/secheresse-32-jours-sans-pluie-en-france-record-battu>). Il explique également que cette sécheresse hivernale est quelque chose qu'on aurait pu observer en avril mai pas en janvier février (c-à-d 2 mois à l'avance).
- Notion de cycles "dérégés" : (https://www.linkedin.com/posts/lamine-ighil-ameur-588b3280_cerema-climadapt-carnot-activity-7033170911524450304-PvcY?utm_source=share&utm_medium=member_desktop).

3. Présentation de Jean-Christophe Calvet (Météo France)

Le Groupe de travail reçoit Jean-Christophe Calvet (Météo France, CNRM) pour une présentation intitulée : « Projections climatiques pour les décennies à venir : température, précipitations, humidité du sol et sécheresses ».

Secrétariat Général et correspondance : **INSAVALOR / CFMS – 66 Boulevard Niels Bohr – CS52132 – 69603 VILLEURBANNE Cedex**

Email : cfms.secretariat@geotechnique.org

Site internet : www.geotechnique.org

SIRET : 498 676 022 00011 – APE 9499Z — Association régie par la loi du 01-07-1901



Le support de présentation et l'enregistrement de la présentation sont disponibles sur le Teams du Groupe de travail :

Présentation : [2023-03-CFMS-GT-CCPPT-I1.00.pdf](#)

Enregistrement : [GT CFMS - Géotech. chgt climatique, dev durable - SS-GROUPE 2-20230303_100817-Enregistrement de la réunion.mp4](#)

Ci-dessous, quelques notes prises lors de cette présentation :

- Les effets du changement climatique sont évalués à l'aide de modèles numériques globaux. Ces modèles sont déclinés pour plusieurs scénarios de forçage radiatifs dus au gaz à effets de serre. Les deux derniers modèles disponibles sont le CMIP5 et le CMIP6.
- Quatre différents scénarios d'évolution de ces forçages sont étudiés dans ces modèles de 2.6 (le plus « optimiste ») à 8.5 W/m2 (le plus « pessimiste »). (ne pas hésiter à utiliser le plus pessimiste)
- Les résultats de ces modèles sont ensuite transformés en modèles régionalisés, en prenant en compte des paramètres locaux.
- Le site internet du DRIAS (<http://www.drias-climat.fr/>) regroupe les résultats des modèles régionalisés pour le territoire français, les données sont consultables et il est possible de créer des graphes ou cartes, par paramètre, etc..
- Pour le territoire français, tous les modèles s'accordent sur le réchauffement (l'augmentation des températures entre 1947 et 2020 atteint presque +2°C l'été en valeur médiane). Concernant l'évolution des précipitations, les résultats montrent un peu plus de dispersion, mais tendent vers une diminution du cumul des précipitations en été. ~~Pour le territoire français, tous les modèles s'accordent sur le réchauffement (l'augmentation des températures entre 1947 et 2020 est déjà de +2°C). Concernant l'évolution des précipitations, les résultats montrent un peu plus de dispersion, mais tendent vers une diminution du cumul des précipitations, notamment au printemps, en été et en automne ?~~
- L'évolution de l'humidité du sol est représentée par le SWI (soil wetness index). Un SWI < 0,3 caractérise un état de sécheresse. Le rôle de la végétation est très important mais complexe, ce qui engendre des incertitudes sur les projections.
- Les projections à long terme pour l'humidité du sol conduisent à une augmentation des sécheresses hivernales, notamment dans le sud de la France, et des sécheresses estivales pour l'ensemble du territoire.

Commentaires / Questions – réponses :

- Est-ce qu'il existe un réseau de stations de mesures de l'humidité du sol suivi par Météo France ? J-ch. Calvet répond qu'il existe une vingtaine de capteurs dans le sud-ouest (le long de l'autoroute entre Bordeaux et Toulouse), mais de faible profondeur (moins de 30 cm), et une sonde plus profonde sur le site de Météo France de Toulouse.

4. Effets du changement climatique par familles d'ouvrages géotechniques

Poursuite du travail d'inventaire des effets du changement climatique et des conséquences pour les ouvrages. Comme indiqué au paragraphe précédent les tunnels et barrages sont supprimés de la liste

11 catégories d'ouvrages ont été définies pour le moment :

1. Maisons individuelles
2. **Routes, voiries, chaussées, voies ferrées (ouvrages en service)**
3. Digue fluviales
4. Pententes naturelles (rocheuses et terrains meubles)

Secrétariat Général et correspondance : **INSAVALOR / CFMS – 66 Boulevard Niels Bohr – CS52132 – 69603 VILLEURBANNE Cedex**

Email : cfms.secretariat@geotechnique.org

Site internet : www.geotechnique.org

SIRET : 498 676 022 00011 – APE 9499Z — Association régie par la loi du 01-07-1901



5. Fondations : superficielles / profondes / dallages
6. Soutènements y compris 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 (ponts, viaducs, etc.)
10. Terrassements (travaux)
11. Améliorations de sol / sol renforcé (inclusions rigides, ...)

Une relecture des tableaux concernant les ouvrages en gras ci-dessus est faite en séance. Les commentaires suivants sont faits :

Commentaires généraux / discussion:

- Sachant que c'est le Maître d'ouvrage qui définit le cahier des charges de l'ouvrage, comment le sensibiliser sur l'évolution du climat ? Doit-on par exemple indiquer dans nos futures recommandations de retenir la valeur de la crue cinquantennale pour la crue centennale ? Une recommandation intéressante serait de recommander des analyses de sensibilité du dimensionnement de l'ouvrage, en fonction des paramètres climatiques. Cela permettrait au M. Ouvrage d'apprécier l'impact des différentes sollicitations climatiques sur le coût de l'ouvrage.
- A noter aussi que certains effets sont bénéfiques : par exemple pour les températures basses et les nombre de jours de gel, les exigences devraient diminuer, ce qui peut compenser (en partie) le surcoût dû aux fortes températures par exemple.

Routes, voiries, chaussées : tableau préparé par Lamis, Yasmina, Vilma,

Etre plus précis sur les solutions d'adaptation proposées : par exemple « adapter les matériaux et les ouvrages » : donner des exemples.

Ouvrages maritimes : tableau préparé par Valérie

RAS

Tous les tableaux examinés sont joints en annexes.

5. Prochaines réunions et répartition du travail

Pour la prochaine réunion (31/03/2023) :

- Mettre à jour et compléter les tableaux des effets du changement climatique par catégorie d'ouvrages (voir CR précédents). Il restera à examiner les « ouvrages d'art avec fondations en site aquatiques »
- Un effort d'harmonisation des termes employés est à faire et sera discuté lors de la prochaine réunion.
- Un document Word avec le sommaire détaillé des recommandations est à préparer (=> Isabelle), en vue de se répartir la rédaction des différents chapitres.

Prochaines réunions :

- **31/03/2023 à 10h (Teams) : intervention de Goneri Le Cozannet (BRGM) : « Risques du changement climatique pour les infrastructures dans le rapport du GIEC de 2022 »**
- **28/04/2023 à 10h (Teams)**

Secrétariat Général et correspondance : **INSAVALOR / CFMS – 66 Boulevard Niels Bohr – CS52132 – 69603 VILLEURBANNE Cedex**

Email : cfms.secretariat@geotechnique.org

Site internet : www.geotechnique.org

SIRET : 498 676 022 00011 – APE 9499Z — Association régie par la loi du 01-07-1901



1oooooooooooooooooooo

10- Ouvrage / Catégorie d'ouvrage : Terrassements (travaux)

Lamis, Vilma, Yasmina

Effet changement climatique	phénoménologie	conséquences	Paramètres à considérer	adaptation
Sécheresse	- Réduction de la teneur en eau des sols (états sec à très sec), - Augmentation de la production de poussières sous circulation, - Diminution de temps de prise des sols traités,	- Difficulté à compacter les sols secs - Impossibilité de compacter des sols très secs, - Nécessité de prélever de l'eau pour humidifier les sols tributaire à arrêté préfectoral (limitation de prélèvement d'eau), - Difficulté à traiter les sols par des liants hydrauliques (nécessité d'ajouter de l'eau), - Modification de la définition des jours d'intempérie (dans les marchés par exemple), - Perturbation des rythmes et des méthodes de travail (retard, adaptation des durées et décalage des projets).	- Evolutions probables des statistiques météorologiques avec le changement climatique au moment des travaux, - Gestion de l'eau et des réserves d'eau, - conséquences sur les mouvements des terres (gestion et règles de compactage), - Définir les périodes favorables et défavorables des travaux (adaptation des plannings projets).	- Modification de temps de travail (travail décalé et travail de nuit), - Modification et adaptation de durée des postes, - Modifier l'organisation des chantiers OPC (Ordonnancement, Planning et Coordination), - modifier les règles de définition des intempéries, - Créer une intempérie pour sécheresse et pas uniquement pour gel, pluie ou tempête, - Innovation dans les produits et les méthodes de traitement, - Adapter les référentiels (guides, etc), - Instrumentations.
Inondations/ Précipitations	- Inondation des voies de circulation et des chantiers, - Erosion des sols, ravinement.	- Dégradation des ouvrages et destruction, - Impossibilité d'accès sur le chantier, - Perturbation des planning.	- Analyser les risques, - Dimensionnement des ouvrages, - Gestion des eaux de surface, - Système de drainage, - Coefficient de ruissellement des eaux de surface, - NPHE.	- Adapter les matériaux et les ouvrages, - Modification des planning OPC, - Instrumentations.

10- Ouvrage / Catégorie d'ouvrage : Terrassements (travaux)

Lamis, Vilma, Yasmina

Effet changement climatique	phénoménologie	conséquences	Paramètres à considérer	adaptation
Sécheresse	- Réduction de la teneur en eau des sols (états sec à très sec), - Augmentation de la production de poussières sous circulation, - Diminution de temps de prise des sols traités,	- Difficulté à compacter les sols secs - Impossibilité de compacter des sols très secs, - Nécessité de prélever de l'eau pour humidifier les sols tributaire à arrêté préfectoral (limitation de prélèvement d'eau), - Difficulté à traiter les sols par des liants hydrauliques (nécessité d'ajouter de l'eau), - Modification de la définition des jours d'intempérie (dans les marchés par exemple), - Perturbation des rythmes et des méthodes de travail (retard, adaptation des durées et décalage des projets).	- Evolutions probables des statistiques météorologiques avec le changement climatique au moment des travaux, - Gestion de l'eau et des réserves d'eau, - conséquences sur les mouvements des terres (gestion et règles de compactage), - Définir les périodes favorables et défavorables des travaux (adaptation des plannings projets).	- Modification de temps de travail (travail décalé et travail de nuit), - Modification et adaptation de durée des postes, - Modifier l'organisation des chantiers OPC (Ordonnancement, Planning et Coordination), - modifier les règles de définition des intempéries, - Créer une intempérie pour sécheresse et pas uniquement pour gel, pluie ou tempête, - Innovation dans les produits et les méthodes de traitement, - Adapter les référentiels (guides, etc), - Instrumentations.
Inondations/ Précipitations	- Inondation des voies de circulation et des chantiers, - Erosion des sols, ravinement.	- Dégradation des ouvrages et destruction, - Impossibilité d'accès sur le chantier, - Perturbation des planning.	- Analyser les risques, - Dimensionnement des ouvrages, - Gestion des eaux de surface, - Système de drainage, - Coefficient de ruissellement des eaux de surface, - NPHE.	- Adapter les matériaux et les ouvrages, - Modification des planning OPC, - Instrumentations.

8- Ouvrages maritimes de type digues

Effet changement climatique	phénoménologie	conséquences	Paramètres à considérer	adaptation
Elévation niveau mer	Submersions marines + fréquentes	Sollicitations plus importantes Débits franchissements + grands Salinisation des nappes Changement des zones d'impact	Niveau d'eau de la mer débits Efforts statiques	Augmentation de la crête de l'ouvrage ou muret en crête ou aménagement arrière en fonction des débits Réaménagement des espaces (recul des ouvrages) Requalification des espaces
	Vent fort, houle moins filtrée car moins d'écrêtement de la houle (facteur aggravant) Vagues plus hautes (car – déferlement si prof + grande en pied d'ouvrage)	Impacts dynamiques sur crêtes d'ouvrage	Efforts dynamiques	Renforcement vis à vis de la stabilité
	Recul trait de côte : nouveau trait de cote Érosion littorale	Éboulement si littoral rocheux Départ de sable si littoral sableux	Niveau d'eau Longueur de recul au niveau du raccordement de la digue avec la cote	Requalification des espaces et des dispositifs de protection Création d'ouvrage de raccordement

8- Ouvrages maritimes de type digues

Effet changement climatique	phénoménologie	conséquences	Paramètres à considérer	adaptation
Vent	Houle et vague Poussière avancée dunaire Tempête Sollicitation cyclique	Sollicitations plus importantes	Vitesse du vent	Vérification de la stabilité des Pare vents/ pare embruns
Inondations	Remontée de nappe (digue d'enclosure de terre-plein arrière)	Niveau d'eau arrière plus élevé et donc Poussée d'eau plus élevée Erosion interne	Niveau d'eau en fonction du temps Différence de niveau d'eau amont/aval et Longueur d'écoulement	Renforcement vis à vis de la stabilité
	surverse	Erosion externe	Vitesse d'écoulement sur le talus externe	Vérification stabilité vis à vis des vitesses

8 - Ouvrages maritimes : quais palplanches /quais sur pieux/caissons

Effet changement climatique	Phénoménologie=traduction des modifications liées aux effets	conséquences	Paramètres à considérer	Adaptation
Sécheresse ou Température	Ecart de Température plus important Ou décalage de la plage de température car les hautes températures augmentent mais les basses aussi... : à vérifier	Phénomène de retrait plus important en phase travaux Modifications de la rhéologie du béton (élasticité, plasticité, viscosité, fluidité) Phénomène de dilatation thermique plus important Accélération de certaines corrosions Modification possible de l'agressivité des milieux (eau de mer, sol...) : à démontrer ?	Pour les calculs des bétons ou métalliques : Température Épaisseur de l'enrobage pour limiter la corrosion des bétons et Épaisseur sacrificielle pour les aciers Elasticité, plasticité, viscosité, fluidité des bétons	Au niveau du béton Au niveau du ferrailage (renforcement si ouvrages existants) Adaptation des Eurocodes
Inondations terrestres	Remontée de nappe	Niveau d'eau arrière plus élevé et donc Poussée d'eau plus élevée	Niveau d'eau en fonction du temps Poussée d'eau Différence de niveau d'eau amont/aval	Renforcement de la stabilité du quai
Vent	Houle et vague Tempête / cyclones Sollicitation cyclique	Sollicitations plus importantes sur les navires et donc sur les appareils d'amarrage et d'accostage	Augmentation des vents de dimensionnement Efforts de traction	Renforcement des appareils d'amarrage et d'accostage : peut être ou diminution des coef de sécurité Downtime dégradé (temps d'arrêt des bateaux dans les ports)

8 - Ouvrages maritimes : quais palplanches /quais sur pieux/caissons

Effet changement climatique	Phénoménologie=traduction des modifications liées aux effets	conséquences	Paramètres à considérer	Adaptation
Elévation niveau mer	Submersion marine plus fréquente	Sollicitations plus importantes Position des appareils d'amarrage et d'accostage plus adaptée Augmentation des profondeurs de quais Moins de dragage (effet positif) Salinisation des nappes / corrosion Augmentation des incertitudes sur les paramètres de dimensionnement souvent combinés tels que Hs Tp, niveau de mer, nombre de vagues...) et donc nécessité peut être de prendre plus de sécurité dans le dimensionnement Poussées supplémentaires en cas de vidange rapide et en phase travaux notamment pour des mises à sec nécessitées pour l'entretien Augmentation des angles des amarres : moins horizontales donc surtension dans les amarres	Niveau d'eau Efforts statiques Poussées d'eau Salinité	Augmentation de la cote d'arase de l'ouvrage mais rehausser conduit à une augmentation du poids et donc nécessité de vérifier le dimensionnement (souvent un quai est dimensionné pour 20kPa de surcharge) On pourrait rehausser que la magistrale mais si la dalle arrière est plus basse, on gêne la vision mais surtout la l'exploitation Redisposition des appareils d'amarrage et d'accostage Renforcement des amarres ?(pour que qqes % de tension en plus) Ou acceptation d'un port moins sécuritaire

8 - Ouvrages maritimes : quais palplanches /quais sur pieux/caissons

Effet changement climatique	Phénoménologie=traduction des modifications liées aux effets	conséquences	Paramètres à considérer	Adaptation
Elévation niveau mer				Cohérence avec tous les ouvrages de part et d'autre du quai et derrière le quai Réaménagement des équipements et réseaux (Mises hors d'eau des réseaux) Augmentation de l'enrobage Protection extérieure contre la corrosion Caissons : stabilité à revoir si différence de niveau d'eau amont/aval plus important

Pour des ports à containers, construits par phase (quai en alignement) : impossible de prévoir de construire une phase plus haute que l'autre – acceptation de quai inondé – possibilité de rehausser ou de faire les fosses et/ou regards arrière pour les équipements et réseaux, moins profonds

8 - Ouvrages maritimes : épis, brise-houle ou brise-lame

Effet changement climatique	phénoménologie	conséquences	Paramètres à considérer	adaptation
Sécheresse	Moins de précipitations Moins d'apports sédimentaires par les fleuves	Accentuation du phénomène d'érosion	Pluie sédimentaire Flux moyen et pic	Rechargement Recalage /repositionnement des ouvrages
Inondations	Embâcles, flux sédimentaires	Perforation pour épis de géosynthétiques remplis de sable	Vitesses d'écoulement Nature des embâcles Niveau d'eau	Renforcement des épis
Elévation niveau mer	Submersions marines + fréquentes Vagues plus hautes (car – déferlement si prof + grande en pied d'ouvrage)	Sollicitations plus grandes Courants plus importants	Niveau d'eau Efforts statiques Vitesse des courants	Rechargement Recalage /repositionnement des ouvrages

Epi = ouvrage en enrochement relativement court qui avance dans la mer depuis la plage et dont la fonction principale est d'interrompre le transit littoral de sédiments afin de constituer ou de retenir des plages à un niveau plus élevé (et souvent, par-là même, de protéger un ouvrage de défense contre la mer existant)

Brise-lame = émergent à la surface (au moins pendant la majeure partie du cycle de marée), ils sont disposés approximativement parallèlement à la côte. Leur fonction est de réduire l'action de la houle et d'encourager la déposition de sédiments à l'arrière de l'ouvrage.