Groupe de
Travail Géotechnique, changement climatique et développement durable

le 06/02/2023

GROUPE DE TRAVAIL « Géotechnique, changement climatique et développement durable »
REUNION du Sous-Groupe 2 du 03/02/2023 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
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		
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

1. Ordre du jour

- Informations diverses
- Inventaire des effets du chgt climatique par familles d'ouvrages
- Répartition du travail en vue de la prochaine réunion

2. Informations diverses

Périmètre du GT :
Après échanges entre CFBR et CFMS, il a été décidé d'exclure les barrages du périmètre du Groupe de Travail., s'agissant d'ouvrages particuliers et complexes, couverts par le CFBR.

De même, les tunnels sont aussi exclus du périmètre du Groupe de Travail.

Participation d'étudiants au GT :
Un groupe de 8 étudiants (Université de Grenoble-Alpes), encadrés par Fabrice Emeriault, apportera une contribution au GT, sur le sujet des digues (2 des étudiants assistent à la réunion du 03/02). Ils sont en effet en charge d'un projet sur le changement climatique, les ouvrages géotechniques et notamment les ouvrages hydrauliques. Ils se mettront en contact avec Eric Vuillermet et Yasmina Boussafir (par le biais de Fabrice Emeriault).

3. 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. **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 (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 :

- Lors de la réunion précédente, il a été évoqué l'idée d'une intervention d'une personne de Météo France, qui pourrait nous présenter les projections sur les prochaines décennies du changement climatique, sur le territoire français. Isabelle Halfon contactera J-Ch. Calvet (contact fourni par Yasmina B.). Gonéri LeCozannet (BRGM, spécialiste de l'élévation du niveau de la mer, et co-auteur du GIEC) sera également contacté. Une séance, si possible plénière, avec les deux sous-groupe, sera organisée. → Isabelle

- Un chapitre sur les effets du changement climatique sera à rédiger dans les futures recommandations. Ce chapitre devra aussi permettre de préciser les termes à utiliser : par exemple « dérèglement » climatique plutôt que « changement » ?, « fortes préciptiations » ou « précipitations extrêmes », etc.

Maisons individuelles : tableau préparé par Sahar, Lamine, Lamis
Les modifications indiquées dans le CR précédent ont été prises en compte.
Concernant les paramètres « courbe de retrait » et « courbe de gonflement », il faudra préciser en annexe comment les obtenir (type d'essai, type de prélèvement, mode opératoire, …)
Concernant « Agir sur le sol » : classer les méthodes en fonction de leur mode d'action : compensation des tassements, étanchéification, Etc.

Digues fluviales : tableau préparé par Eric V., Sahar, Yasmina
Remarque sur paramètres d'intérêt : préciser « connaissances des sols en place. Même chose pour essais type MOJET, HET ou autre.
Pour les ouvrages linéaires comme les digues, préciser la fréquence nécessaire pour les investigations.
Paramètres externes comme « hydrogramme de crue » ou « évolution des hydrogrammes de crue » : il faudra préciser comment les obtenir (modélisation hydraulique ?).
Surveillance / monitoring : on peut les rattacher à la méthode observationnelle.

Pentes naturelles : 2 tableaux préparés par Eric V., Isabelle H.
Deux tableaux séparés : un pour les pentes de matériaux meubles, l'autre pour les pentes rocheuses.
Voir commentaires / corrections en rouge.

Ouvrages hydrauliques : *tableau préparé par Eric V., Yasmina*
Pour paramètres à considérer : préciser pour retrait volumique, il faudra préciser en annexe comment les obtenir (type d'essai, type de prélèvement, mode opératoire, …). Harmoniser le vocabulaire avec autres fiches.

Ouvrages d'art / ponts / viaducs : tableau préparé par Charlotte, Christophe M, Christophe Ch.
Il conviendra de préciser que pour tous les ouvrages terrestres, on pourra se rattacher au tableau n°5 Fondations superficielles & profondes. Ce tableau est donc spécifique aux fondations en site aquatiques.

Tous les tableaux examinés sont joints en annexes.

4. Prochaines réunions et répartition du travail

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

- Mettre à jour et compléter les tableaux des effets du changement climatique par catégorie d'ouvrages.

- Un effort d'harmonisation des termes employés est à faire et sera discuté lors de la prochaine réunion.
- Contacter J-ch. Calvet (Météo France) et G. Le Cozannet (BRGM) → Isabelle

1. Maisons individuelles → Sahar, Lamine, Lamis
2. Routes, voiries, chaussées, voies ferrées (ouvrages en service))→ Vilma, Lamis, Lamine, Charlotte
3. Digues fluviales → Eric V., Sahar, Yasmina + étudiants Grenoble
4. Pentes naturelles (rocheuses et terrains meubles) → Isabelle, Eric V.
5. Fondations : superficielles / profondes / dallages → Anh-Minh, Sabrina
6. Soutènements yc composants (ancrages, renforcements, etc.) → Anh-Minh, Christophe M.
7. Ouvrages hydrauliques (rétablissement, buses, dalots) / réseaux → Eric. Yasmina
8. Ouvrages maritimes : quais, terre-pleins, digues, épis, brise-houles → Valérie
9. Ouvrages d'art (ponts, viaducs, etc.) → Charlotte, Christophe M, Christophe Ch.
10. Terrassements (travaux) → Yasmina, Vilma, Lamis
11. Améliorations de sol / sol renforcé (inclusions rigides, …) → Serge L. ?

Prochaines réunions :

- **03/03/2023 à 10h (Teams)**
- **31/03/2023 à 10h (Teams)**

1°°°°°°°°°°°°°°°°°

1- Maisons individuelles sur fondations superficielles

Sahar Hemmati (UGE), Lamine Ighil Ameur (Cerema), Lamis Makki (UGE) – reçu le 3/02/2023

Effets du changement climatique	Phénoménologie	Conséquences	Paramètres à considérer	Mesures d'adaptation / atténuation
Sécheresse prolongée et intense Fortes précipitations	• Des cycles de sécheresse/précipitations déréglés au fil du temps (durant la même année et d'année en année) • Extension de retrait-gonflement des argiles au niveau des sols jusque-là épargnés. • Dérèglement : • Sécheresse parfois précoce, plus de saisonnalité, plus longue, humidification plus rare => succession de sécheresse mais réhumidification insuffisante • Change d'année en année.	1- Sur les sols : • Une profondeur de dessiccation plus importante (en particulier proche des fondations) • Une fissuration de dessiccation accentuée et des propriétés hydromécaniques davantage altérées 2- Sur les maisons : • Fissures des façades exposées (en escalier, départ des angles d'ouvertures) • Écartement des dallages des cloisons • Huisseries bloquées 3- Sur les aménagements extérieurs • Fissuration des terrasses, allées (en béton ou bitume) • Fissuration (endommagement) des réseaux enterrés	• Nature des sols en place et localisation de la couche d'argile très plastique (**A3/A4 – teneur en eau, granulométrie, VBs/IP**), • Profondeur maximale de propagation de la sécheresse, • Courbe de rétention d'eau, • Perméabilité du sol, • **Courbe de retrait??** • **Courbe de gonflement??** • Environnement proche : végétation, gestion des eaux (pluviales et usées), état des réseaux, etc, • Configuration du site : terrain en pente, pourtour de la maison (accessible, nu, etc), • Caractéristiques structurelles du bâtiment (présence et type de fondations, chaînages, etc), • Bilan météo locale et humidité des sols. **En gras** : essais à faire en priorité *Préciser en annexe du tableau comment obtenir courbe de retrait et courbe de gonflement (essais simplifiés)*	Quelques exemples de mesures d'adaptation pour réduire la vulnérabilité des maisons exposées au RGA (valables pour les construction existantes et neuves) : 1- Agir sur l'environnement proche (gestion des eaux et de la végétation) : • Supprimer la végétation trop proche des façades exposées et/ou fissurées ou mise en place d'écrans anti-racines • Vérifier l'état des réseaux et quand cela est possible les écarter des fondations • Étanchéifier le pourtour de la maison (par une géomembrane par exemple) avec systématiquement un système de drainage adapté (drain de surface ou tranchée drainante par exemple) • D'autres solutions ??? 2-Agir sur la structure du bâti : • Consolidation par une ceinture en béton armé en l'absence de fondations (maisons anciennes) • Adapter les fondations en respectant les dispositions constructives en vigueur (la reprise en sous œuvre des fondations) 3-Agir sur le sol : ou reformuler par type d'action sur le sol • Compenser les tassements sous les fondations, et/ou étanchéifier le sol (au stade expérimental) par l'injection des résines expansives ou bien par d'autres méthodes de traitement innovantes (recherche en cours), • Réhumidification localisée et contrôlée du sol par l'eau de pluie préalablement récupérée et stockée (comme le procédé expérimental MACH « MAison Confortée par Humidification » du Cerema >> https://www.cerema.fr/fr/actualites/comprendre-solution-mach-du-cerema-developpement-adaptation) • Autres méthodes d'amélioration au stade expérimental : citer des exemples ??? • Susbstitution de sol, traitement à la chaux Nota : pour les **constructions neuves**, se référer à l'article 68 de la loi n° 2018-1021 du 23 novembre 2018 portant évolution du logement, de l'aménagement et du numérique (Elan) >> https://www.ecologie.gouv.fr/sols-argileux-secheresse-et-construction Pour en savoir plus : ???? À ajouter les liens pour LAMISS (Rouen), SEC 2008, SEC 2015 etc. • Journée d'information et de sensibilisation du Cerema sur les maisons fissurées par la sécheresse du 10 octobre 2022 : replay, présentations et ressources en ligne >> https://www.cerema.fr/fr/actualites/premiere-edition-journee-nationale-resilience-replay-journee#toc--en-savoir-plus

3- Ouvrage / Catégorie d'ouvrage : Digue Fluviale (partie ½)

Eric, Sahar, Yasmina

Effet changement climatique	phénoménologie	conséquences	Paramètres à considérer	adaptation
sécheresse	• Desiccations des sols avec réduction de volume, • Diminution de la hauteur de l'ouvrage, • Diminution de la perméabilité des sols dans les ouvrages et sur les terrains naturels • Modification du ruissellement sur les sols • une baisse du niveau de la nappe phréatique	• apparition de fissures selon les matériaux (surtout argileux, type A2, A3) • Problématique d'érosion interne (risque d'accentuation du phénomène) • Risque de pénétration d'eau dans les fissures • Risque de surverse en cas de diminution de la hauteur de la digue • Modification de l'hydrogramme de crue • Modification des conditions aux limites (en cas de baisse de nappe phréatique)	• Identification des sols (teneurs en argile et localisation) • Retrait volumique des sols • Courbe de rétention d'eau • Évaluation de la perméabilité non saturé • Probabilité d'apparition d'une crue soudaine en période de sécheresse	• Protection de surface par des matériaux insensibles au retrait-gonflement ? Ou autres techniques type traitement des sols • Monitoring d'ouvrage pour suivre l'état des sols sensibles au retrait-gonflement (Lidar) • Surveillance au sens large • Humidification des sols par arrosage
inondations	• Défaillance hydraulique de la digue en cas de niveau d'eau supérieur au niveau de protection • Augmentation des debits • Décrue plus marquée	• Surverse de la crête et talus aval • érosion externe du talus amont, affouillement • Instabilité talus, glissement de terrain en crue et à la décrue rapide	Hydrogramme de crue Evolution des hydrogrammes avec le changement climatique Connaissance des sols en place (paramètres mécaniques, perméabilité, résistance à l'erosion type MOJET, HET ou autre)	• Modifier le niveau de protection, surélévation de l'ouvrage, création de fusibles • Renforcer la protection contre l'érosion externe • Renforcer la stabilité interne
Elévation du niveau de mer (p.m. pour les zones d'estuaires par ex.?)	Augmentation du niveau moyen de la mer et des risques de submersion marine	Défaillance hydraulique de la digue	?	• Renforcer la protection contre l'érosion externe • Modifier le niveau de protection, surélévation de l'ouvrage • Modifier l'urbanisation

3- Ouvrage / Catégorie d'ouvrage : Digue Fluviale (partie 2/2)

Eric, Sahar, Yasmina

Effet changement climatique	phénoménologie	conséquences	Paramètres à considérer	adaptation
Vent	Facteur aggravant en cas de présence d'arbre par risque de basculement, d'arrachements de souches	Fragilisation de la digue (impacte la stabilité et la résistance à l'erosion)	Etat de la végétation	Gestion de la végétation Réparation des talus après désouchage
Incendie	• Dessiccation des sols • Modification de la perméabilité des sols en surface • Modification du type de végétation à la reprise • Destruction/dégradation de matériaux type géosynthétiques, bétons, buses, etc.	Augmentation du risque d'érosion	Gestion du risque incendie	• Travaux de maintenance et d'entretien • Suivi et inspection d'ouvrage après évènement
Pluviométrie (Pluie plus forte)	• Augmentation du ruissellement sur les talus • Effet splash	• Ravinement • Détachement des particules de sol sous l'effet des gouttes • Saturation des sols	Résistance à l'erosion Géométrie en long et en travers	• Protection contre l'érosion • Gestion du pluvial

4a - Ouvrage / Catégorie d'ouvrage : Pentes naturelles (sols) – (partie ½)

Isabelle, Eric V. , 3/02/2023

Effet changement climatique	phénoménologie	conséquences	Paramètres à considérer	Adaptation / atténuation
Sécheresse, fortes températures	Dessication, augmentation du ruissellement, augmentation du risque de crue soudaine des cours d'eau par réduction du coefficient d'infiltration	Cf. inondation / fortes précipitations Diminution des effets protecteurs de la végétation	Nature des sols (sols fins ou granulaires) Teneur en eau	Cf. inondation / fortes précipitations Végétalisation avec essences adaptées
Inondations / Crue	Affouillement des pieds de talus et berges de torrents / rivières, Instabilité à la décrue	Glissements de terrain Erosion des berges des cours d'eau (ex. tempête Alex) Coulées de boues (laves torrentielles, lahars) Dommages sur les ouvrages de protection (RTM), ponts, buses	Nature des sols (sols fins ou granulaires) en pied de pente et le long des cours d'eau Pente Erodabilité Vitesse d'écoulement	Protection des berges des cours d'eau Révisions des PPR, et plans d'urbanisme Interdiction de construire dans les lits majeurs
Fortes précipitations : - Intensité plus forte sur durées plus courtes - Même intensité sur durées plus longues Remarque : nature des précipitations (neige vs pluie) → effets différents, fonte des neiges	Erosion des pentes : ravinement Effet "splash" : désagrégation du sol sous l'impact des gouttes (Erosion externe) Augmentation de la saturation des sols et du poids volumique des sols Modification des écoulements internes (avec effet différé)	Glissements de terrain Coulées de boues (laves torrentielles, lahars) Erosion de surface	Nature des sols (sols fins ou granulaires) Teneur en eau Degré de saturation Perméabilité Niveau de la nappe Hauteur de précipitation par événement Pente	Révisions des PPR, et plans d'urbanisme Drainage des pentes et talus Gestion des écoulements de surface Gestion des protections naturelles de surface (végétation) Confortement, Renforcement des talus (clouage, tirants, butée de pied, banquettes, etc.)

4a - Ouvrage / Catégorie d'ouvrage : Pentes naturelles (sols) (partie 2/2)

Isabelle, Eric V. , 3/02/2023

Effet changement climatique	phénoménologie	conséquences	Paramètres à considérer	Adaptation / atténuation
Elévation du niveau de mer (pentes littorales)	Erosion des pieds de versant (si marnage) Submersion marine	Recul du trait de côte Instabilités gravitaires des pentes littorales (glissement de terrain) Diminution du cordon dunaire	Hauteur marnage Niveau des plus hautes eaux Incidence houle / action des vagues Nature des sols (sols fins ou granulaires)	Création d'épis, Renforcement du trait de cote dans les zones à enjeux (protection, végétalisation) Révisions des PPR, et plans d'urbanisme Interdiction de construire
Vent (augmentation de la force et fréquence des tempêtes)	Avalanches (en montagne : congères, plaques à vent) destruction des arbres → favorise le ruissellement	Déstructuration du sol par effets cycliques du balancement des arbres Conséquences indirectes de la destruction des arbres → favorise le ruissellement ; production d'embâcles sur les cours d'eau	Vitesse du vent Pente Caractérisation du couvert végétal (essences, densité, hauteur, …)	Dispositifs de rétention (pare-avalanche, ouvrages RTM) Gestion du couvert végétal
Incendie	Disparition du couvert végétal	Cf. inondation / fortes précipitations (si consécutive à incendie) augmentation du ruissellement : par diminution des effets protecteurs de la végétation	Cf. inondation / fortes précipitations Sensibilité du couvert végétal aux incendies	Gestion du couvert végétal Végétalisation avec essences adaptées Cf. fortes précipitations
Gel / Dégel	Fonte du permafrost, dégradation du pergélisol Effet des cycles gel/dégel	Fluage, solifluxion Accroissement de l'érodabilité Diminution des caractéristiques mécaniques Tassements des fondations de pylônes en montagne	Nature des sols Teneur en eau Durée des cycles et/ou nombre de jours de gel/an Températures minimales	Révisions des PPR, et plans d'urbanisme

4b- Ouvrage / Catégorie d'ouvrage : Pentes naturelles rocheuses (partie ½)

Isabelle, Eric

Effet changement climatique	phénoménologie	conséquences	Paramètres à considérer	Adaptation / atténuation
Sécheresse, fortes températures	??? Désquamation de certaines roches			
Inondations, crue (effets sur pieds de versants)	Erosion des pieds de talus rocheux et berges de torrents / rivières	Éboulements rocheux Coulées de blocs, lahars Erosion des berges des cours d'eau (ex. tempête Alex)	Nature des roches Qualité massif rocheux (discontinuités) Morphologie du pied de versant	Protection des berges des cours d'eau Révisions des PPR, et plans d'urbanisme Interdiction de construire dans le lit majeur Dispositifs de rétention (filets, merlons, etc.) dans zones d'enjeux Renforcement des talus (clouage, tirants, etc.) dans zones d'enjeux
Fortes précipitions	Augmentation rapide des pressions dans les discontinuités	Eboulements rocheux Coulées de blocs, lahars	Nature des roches Qualité massif rocheux (discontinuités) Morphologie du versant Hauteur de précipitation par événement	Révisions des PPR, et plans d'urbanisme Drainage des massifs rocheux en zones d'enjeux Dispositifs de rétention (filets, merlons, etc.) dans zones d'enjeux Renforcement des talus (clouage, tirants, etc.) dans zones d'enjeux
Elévation du niveau de mer (falaises littorales)	Erosion des pieds de falaises Submersion marine	Recul du trait de côte Instabilités gravitaires des falaises littorales (glissement de terrain, éboulements rocheux)	Hauteur marnage Niveau des plus hautes eaux Incidence houle / action des vagues Résistance mécanique / érodabilité de la matrice rocheuse Qualité du massif rocheux	Création d'épis, renforcement des falaises dans les zones à enjeux Révisions des PPR, et plans d'urbanisme

4b- Ouvrage / Catégorie d'ouvrage : Pentes naturelles rocheuses (partie 2/2)

Isabelle, Eric

Effet changement climatique	phénoménologie	conséquences	Paramètres à considérer	Adaptation / atténuation
Vent (augmentation de la force et fréquence des tempêtes)	Avalanches (en montagne) ???			
Incendie	Eclatement de roches (si incendie se propage à une pente rocheuse, ce qui suppose une présence de végétation)	Éboulements, chutes de blocs Cf. inondation / fortes précipitations (si consécutive à incendie)	Nature de la matrice rocheuse, sensibilité au feu Qualité du massif rocheux	Dispositifs de rétention résistant au feu (filets, merlons, etc.) dans zones d'enjeux
Gel / Degel	Eclatement des roches (cryoclastie), Fonte du permafrost => Détachement de blocs rocheux (la glace faisant office de ciment)	Eboulements rocheux Chute de séracs (glace) plus fréquentes Tassements des fondations de pylônes en montagne	Qualité du massif rocheux (fracturation, espacement discontinuités, etc.) Résistance au gel de la matrice rocheuse	Dispositifs de rétention (filets, merlons, etc.) dans zones d'enjeux Renforcement des talus (clouage, tirants, etc.) dans zones d'enjeux Révisions des PPR, et plans d'urbanisme Interdiction de construire

Eric, Yasmina

7- Ouvrage / Catégorie d'ouvrage : ouvrages hydrauliques (rétablissements, buses, dalots, fossé de pied…) (partie ½)

Effet changement climatique	phénoménologie	conséquences	Paramètres à considérer	Adaptation / Atténuation
sécheresse	• Déformation de l'ouvrage, • Modification du fil d'eau en cas de retrait • Desiccations des sols avec réduction de volume, apparition de fissures selon les matériaux	• Défauts d'étanchéité • Risque de modification des écoulements d'eau et circulation d'eau au contact sol-ouvrage • Fragilisation de l'ouvrage dans sa fonction hydraulique	• Identification des matériaux (Nature des sols, teneur en eau) • Retrait volumique des sols	• Inspection de l'ouvrage et détection des anomalies type déchaussement, tassements différentiels, déjointoiement, etc. • Travaux de maintenance et entretien
inondations	• Mise en charge des ouvrages • Débits plus forts et plus fréquents	• Érosion externe • Érosion interne lorsque l'eau passe entre l'ouvrage et le sol • Affouillement • Débordement	Connaître la période de retour et l'intensité des crues Identification des matériaux (nature des sols, teneur en eau)	• Renforcer la protection contre l'érosion externe • Travaux de maintenance et d'entretien • Suivi et inspection d'ouvrage • Redimensionner l'ouvrage ou gérer la retention d'eau en amont

Eric, Yasmina

7- Ouvrage / Catégorie d'ouvrage : ouvrages hydrauliques (rétablissements, buses, dalots, fossé de pied…) (partie 2/2)

Effet changement climatique	phénoménologie	conséquences	Paramètres à considérer	Adaptation / Atténuation
Elévation du niveau de mer	Sans objet			
Vent	Sans objet			
Incendie	Destruction/dégradation de matériaux type géosynthétiques, bétons, buses, etc.	• Pour les fossés, augmentation du risque d'erosion • Augmentation des matières en suspension, eaux plus charges en particules • Perte de débitance voire destruction totale des têtes d'ouvrages	• Sensibilité au risque incendie des matériaux constitutifs des ouvrages • Sensibilité aux apports d'eau chargés et à la sedimentation/dépots dans les pentes faibles	• Choix de matériaux insensibles au feu • Ajouter des pièges à sédiments ou à embacles • Redimensionner l'ensemble • Travaux de maintenance et d'entretien • Suivi et inspection d'ouvrage

9a - Ouvrage / Catégorie d'ouvrage : Ouvrages d'art – Ponts, viaducs en site aquatique (uniquement)

Charlotte, Christophe M. Christophe Ch.

Effet changement climatique	phénoménologie	conséquences	Paramètres à considérer	adaptation
sécheresse	Retrait dans les sols argileux Températures plus élevées	Tassements des fondations superficielles Dilatation thermique des structures	Profondeur de dessication Variation maximale des températures Sollicitations complémentaires sur les appuis	Augmenter la profondeur d'encastrement Revoir et adapter le dimensionnement
inondations	Augmentation du niveau de la nappe Augmentation des débits dans les cours d'eau	Efforts complémentaires piles de pont Affouillement des piles et culées	Niveau des plus hautes eaux Profondeur d'affouillement	Prise en compte des sous-pressions Mise en oeuvre de protections ou approfondissement des fondations
Elévation du niveau de mer	Augmentation du niveau de la nappe Houle et vagues Modifications du biseau salé	Augmentation des solicitations Augmentation des solicitations Salinisation de la nappe Corrosion	Niveau d'eau sollicititations dynamiques appliqués Classe d'agressivité des eaux vis à vis des bétons	Mise en place de protections surdimensionnement des ouvrages Adaptation des bétons aux fondations
Température	Modification des cycles gel/dégel	Accrétion de glace sur les ponts à hauban	Sollicitations complémentaires sur les cables	Revoir et adapter le dimensionnement
Vent	Tempêtes, tornades, cyclones Pression due au vent Houle et vagues	Augmentation des solicitations sur la structure et Augmentation des solicitations sur les piles		
Incendie	Fortes températures	Dégradation qualité béton	Caractéristiques dégradées des bétons et aciers	Revoir le dimensionnement

9b - Ouvrage / Catégorie d'ouvrage : Ouvrages d'art - Tunnels

Charlotte, Christophe

Effet changement climatique	phénoménologie	conséquences	Paramètres à considérer	adaptation
Sécheresse Abaissement de la nappe	Retrait dans les sols argileux Températures plus élevées	Tassements des fondations superficielles Dilatation de structures	Profondeur de dessication Sollicitations complémentaires sur les appuis	Augmenter la profondeur d'encastrement Revoir le dimensionnement
Inondations Précipitations plus importantes Remontées de nappe	Augmentation du niveau de la nappe, des débits dans les cours d'eau, Augmentation des circulations et pressions (fracturation dans les roches)	Débits et pressions plus élevés (tunnels)		Drainage complémentaire Dimensionnement à revoir.
Vent				
Incendie	Fortes températures	Dégradation qualité béton	Caractéristiques dégradées des bétons et aciers	Revoir le dimensionnement