



PROJET

ÉTUDE DE FAISABILITÉ ET D'INTÉRÊT POUR L'APPLICATION DES TECHNOLOGIES DE RÉALITÉ AUGMENTÉE ET/OU DE RÉALITÉ VIRTUELLE À LA PRÉVENTION DES INONDATIONS SUR L'ARC MÉDITERRANÉEN

Bibliographie et analyse des attentes des gestionnaires
de risques en vue de propositions d'actions et d'appui
à la constitution d'un cahier des charges



Octobre 2021

Réalisation :

Pierre SCHOLL, Risques Naturels et Communication

Maître d'ouvrage et participant à l'étude :

Ghislaine VERRHIEST-LEBLANC

Mission Interrégionale Inondation Arc Méditerranéen

DREAL de zone de défense et de sécurité Sud

Contributeurs :

SDIS 04 et 05, EV2R, Université de Caen (LETG et CIREVE), CSTB, Immersion Tools, Entente Valabre, PixArchi, Octarina, Predict Services

Relecteurs :

Sylvie GRECIET - DGPR, Marie-Françoise BAZERQUE - DREAL de zone de défense et de sécurité sud

Mise en page :

Valérie SCOTTO DI CESARE - www.vsdcom.fr

SOMMAIRE

5	●	Contexte
7	●	II. Définitions
9	●	III. Méthodologie d'étude mise en œuvre
		III.1. Le questionnaire
		III.2. Les recherches internet
		III.3. L'enquête téléphonique
11	●	IV. Questionnaire relatif aux attentes des gestionnaires de risques en matière de VR/AR appliqué à la prévention des inondations
		IV.1. Origine des répondants
		IV.2. Niveau de connaissance de la réalité virtuelle
		IV.3. Aprioris sur l'utilité de ces technologies pour la prévention des inondations
		IV.4. Attentes sur les thématiques d'utilisation de la VR / AR
		IV.5. Suggestions de VR / AR à développer
		IV.6. Mise en œuvre de projets VR/AR par les partenaires consultés.
		IV.7. Ce que les partenaires attendent de la MIAM dans le domaine de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée
		IV.8. Les initiatives VR et AR connues des personnes interrogées
		IV.8.A) Sandbox
		IV.8.B) Weather channel
		IV.8.C) Exp'Eau, mémoire du risque inondation dans l'Aude
		IV.8.D) Solutions internes de Predict Services
		IV.8.E) Institut Paris Région, visualisation des zones inondables de la Seine et des enjeux impactés
		IV.8.F) IGNIS, Entente Valabre
		IV.8.G) Visualisation réaliste d'une crue centennale à Brignoles
		IV.8.H) Visualisation à 360 degrés et en 3 dimensions de la crue centennale de l'Yseron

	IV.8.I) Application La Brague,
	IV.8.J) Montages photographiques
	IV.8.K) Projet PRODIGE
	IV.8.L) PROTERINA
	IV.8.M) Flood Ar (plan Rhône)
	IV.8.N) Littosim
	IV.8.O) Travaux de M. Costa de l' Université de Caen
	IV.8.P) Musée Résilient : Projet MRI
	IV.8.Q) CSTB
	IV.8.R) SECOAS Simulateur d'Entrainement à la Coordination des Opérations Aériennes de Secours
	IV.8.S) Sismo Truck 360°
	IV.8.T) Projet 360, en cours, de l'Entente Valabre et de la MIIAM
20	V. Enquête téléphonique
	V.1.A) Entente Valabre
	V.1.B) CSTB / immersion tool : réalité augmentée permettant de modéliser les lignes de courant (immersion tool)
	V.1.C) SDIS 04 : projet PRODIGE et RiskFor
	V.1.D) Projet REVE Côt, réalité virtuelle et villes côtières
24	VI. Enquête sur internet
	VI.1.A) VR Flood, a 360VR flood experience
	VI.1.B) 360-degree video! Escaping the submerged car [Virtual trial]
	VI.1.C) two°C - New-York City
	VI.1.D) Réalité augmentée mobile pour la visualisation des inondations
	VI.1.E) Jumeau numérique, et simulation d'inondation en réalité augmentée et virtuelle
	VI.1.F) Disaster Scope : Expérience simulée d'inondation par réalité augmentée utilisant GoogleARCore Depth API
	VI.1.G) Crue Simulator VR : formation en réalité virtuelle à la gestion des ouvrages hydroélectrique en crue
28	VII. Propositions d'actions
28	VIII. Action retenue par le maître d'ouvrage
28	IX. Appui au cahier des charges
28	X. Annexes
29	Annexe 1 : Enquête sur les attentes des gestionnaires de risques en matière d'utilisation de la réalité virtuelle pour la prévention des inondations
36	Annexe 2 : Note technique d'appui aux gestionnaires de risques souhaitant faire réaliser un outil de sensibilisation des inondations s'appuyant sur la réalité mixte



CONTEXTE

I. CONTEXTE

Dans le cadre de sa stratégie zonale de prévention des inondations, la Mission Interrégionale Inondation Arc Méditerranéen (MIIAM), de la DREAL de zone de défense Sud, se propose, *via* son orientation IV.1, de contribuer au développement d'outils innovants pour la prévention des inondations. En accord avec la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) du ministère de la Transition écologique et de la Direction Générale de la Sécurité Civile et des Gestions de crise (DGSCGC) du ministère de l'Intérieur, une priorité a été donnée en 2021 à l'analyse du potentiel de la réalité virtuelle, mixte ou augmentée et à la conduite d'expérimentations sur ce sujet.

Dans ce cadre, la MIIAM a missionné « Pierre Scholl, Risques Naturels et Communication » afin :

- d'analyser les attentes des gestionnaires de risques quant à l'utilisation éventuelle de la réalité virtuelle (VR) et / ou de la réalité augmentée (AR) pour la prévention des inondations,
- de rechercher les éventuelles initiatives existantes en la matière (analyse bibliographique),
- de proposer un certain nombre d'initiatives qui pourraient être développées dans le futur, à des fins de prévention des inondations sur l'arc méditerranéen, et mettant en œuvre les technologies AR/VR
- de fournir, pour l'une des propositions évoquées ci-dessus, choisie par le maître d'ouvrage, un document d'appui à la constitution d'un cahier des charges comprenant des éléments méthodologiques et des éléments de chiffrage.

Le présent rapport est publié à l'attention des gestionnaires de risques d'inondation (services de l'État, collectivités, syndicats de rivière, associations...) de l'arc méditerranéen. Il permet de dresser un état des lieux et d'évoquer les perspectives quant à l'utilisation de la réalité virtuelle pour sensibiliser les populations aux risques d'inondation et à se préparer à faire face à une inondation rapide liée à des pluies intenses méditerranéennes.

Il constitue également pour la MIIAM un socle de connaissance et de propositions dont certaines seront mises en œuvre dans les prochains mois-années.



DÉFINITIONS

II. DÉFINITIONS

La réalité virtuelle (VR ou RV) désigne les dispositifs permettant de simuler numériquement un environnement créé artificiellement, le plus souvent sur ordinateur. Selon les technologies employées, elle permet à l'utilisateur de ressentir un univers « virtuel » par le biais de ses différents sens : la vue le plus souvent, mais aussi éventuellement le toucher, l'ouïe, l'odorat, le goût. En plus de le ressentir, le dispositif peut permettre à l'utilisateur d'évoluer dans cet événement, et même d'interagir avec lui.

Les premières expériences de réalité virtuelle datent du début du XX^e siècle avec la visualisation stéréoscopique de volumes dessinés, par le biais de stéréoscopes optiques. Des expériences du milieu du XX^e siècle font intervenir la vue, le toucher et l'odorat. Les casques de réalité virtuelle, permettant de visualiser en stéréoscopie un environnement créé sur informatique apparaissent à l'état de recherche dans les années 90 et deviennent accessibles au grand public au cours des années 2000. Les casques de réalité virtuelle plongent l'utilisateur dans un environnement à champs large (typiquement 180 ou 360°), le casque lui permet de découvrir l'environnement en tournant la tête, ce mouvement étant suivi par des accéléromètres et gyroscopes, et traduit par un mouvement du point de vue sur l'image projetée.

La visualisation dans un casque VR peut être stéréoscopique ou non. Dans le premier cas, l'œil gauche et l'œil droit visualisent des points de vue décalés sur l'environnement, permettant ainsi au cerveau d'appréhender le volume. Dans le second cas l'utilisateur ne perçoit pas les volumes mais peut les déduire de son expérience ou du mouvement relatif des objets les uns par rapport aux autres dans l'environnement virtuel.

La réalité augmentée (AR ou RA) consiste en la visualisation d'objets créés par ordinateur en superposition d'une vision du monde réel. Cette vision du monde réel peut être directe (c'est le cas de l'holographie, des pare-brises de réalité augmentée, de certaines lunettes de réalité augmentée...) ou passer par des caméras et un écran (c'est le cas de certaines lunettes de réalité augmentée et de certains casques VR munis de caméras).

Il existe une transition continue entre la réalité virtuelle et la réalité, en passant par la réalité augmentée. Le terme de **réalité mixte** (XR) a été plus récemment introduit pour désigner l'ensemble de ce continuum.

Ces technologies connaissent actuellement un essor, dû à la démocratisation et l'amélioration de la qualité des systèmes de visualisation. On les retrouve dans les domaines des jeux vidéo principalement, mais également de l'immobilier, de la formation, de l'industrie, et plus récemment de la culture, avec la mise à disposition de visites virtuelles de musées, dont la production s'est accentuée avec la crise sanitaire liée au COVID 19.



MÉTHODOLOGIE D'ÉTUDE MISE EN ŒUVRE

III. MÉTHODOLOGIE D'ÉTUDE MISE EN ŒUVRE

III.1. LE QUESTIONNAIRE

Le réseau professionnel de la MIIAM (services de l'État, porteurs de PAPI – programmes d'actions pour la prévention des risques d'inondation, associations, services de secours...) a été mobilisé par mail et *via* les réseaux sociaux, directement par la MIIAM et par l'intermédiaire de ses partenaires, afin de répondre à un questionnaire en ligne fourni en annexe 1.

L'objectif de ce questionnaire était :

- d'analyser l'état de connaissance des gestionnaires de risques inondation en matière de réalité virtuelle et réalité augmentée,
- d'identifier leurs attentes liées à cette technologie et de recueillir leurs éventuelles suggestions.

Afin d'assurer un taux de réponse satisfaisant, il a été choisi de réaliser un questionnaire court, pouvant être rempli en moins de 5 minutes, et permettant au participant motivé de s'exprimer grâce à des questions ouvertes. La consultation a été menée sur un mois du 11 décembre 2020 au 15 janvier 2021.

III.2. LES RECHERCHES INTERNET

En parallèle, des recherches ont été menées sur internet afin d'identifier d'autres solutions VR et AR en France et à l'étranger. Ont été analysées à la fois des solutions appliquées à la prévention des inondations ou couvrant d'autres thématiques, mais pouvant avoir un intérêt pour une réplique en France sur la thématique de la prévention du risque inondation.

III.3. L'ENQUÊTE TÉLÉPHONIQUE

Sur la base des recherches internet et du questionnaire précité, certains acteurs, ont été joints par téléphone afin d'approfondir leurs réponses et de bénéficier de leur retour d'expérience afin de contribuer à l'identification des solutions mise en œuvre, d'écueils à éviter et de bonnes pratiques.

Les acteurs avec lesquels un entretien téléphonique complémentaire a été mené, sont :

- Sylvain Aguinaga, du CSTB, qui a développé un système de visualisation en réalité augmentée des résultats de modélisations aérodynamiques ;
- Le Lieutenant-Colonel Jean-Frédéric Biscay, Directeur adjoint du Centre d'Essais et de Recherche de l'Entente Valabre et Chef du Simulateur d'Entraînement à la COordination Aérienne de Secours – SECOAS, mettant en œuvre la réalité virtuelle pour la formation aux interventions de secours ;
- Sébastien Meric du SDIS des Alpes de Haute Provence, ayant participé au projet PRODIGE comprenant également le déploiement d'un outil de formation par réalité virtuelle ;
- Hugues Bosvieux et Philippe Carrez, de l'entreprise Immersion Tools, qui produit des applications de réalité augmentée ;
- Richard Dilon de l'entreprise E2VR qui produit des applications de réalité virtuelle et augmentée ;
- Zahir Ould Hocine, développeur informatique senior, et fondateur de PixArchi ;
- Selim Bekkar, de l'entreprise Octarina, qui réalise des outils de réalité virtuelle et augmentée ainsi que des jeux vidéo.

IV

QUESTIONNAIRE RELATIF AUX ATTENTES DES GESTIONNAIRES DE RISQUES EN MATIÈRE DE VR/AR APPLIQUÉ À LA PRÉVENTION DES INONDATIONS

IV. QUESTIONNAIRE RELATIF AUX ATTENTES DES GESTIONNAIRES DE RISQUES EN MATIÈRE DE VR/AR APPLIQUÉ À LA PRÉVENTION DES INONDATIONS

Le questionnaire est fourni en annexe 1.

IV.1. ORIGINE DES RÉPONDANTS

Au cours du mois de consultation, 69 personnes ont pris le temps de répondre. La répartition des réponses en fonction du type de structure est la suivante :

- 17 réponses issues de collectivités (régions, métropoles, communautés de communes, communes. Une élue, les autres sont des chargés de missions en charge des risques ou responsables communaux de Plans communaux de sauvegarde - PCS) (24,6%)
- 16 réponses issues de Directions départementales des Territoires (et de la Mer) - DDT ou DDTM (15 DDTM différentes, 7 chefs de services risques) (23,2%)
- 16 réponses issues de syndicats de rivières et Établissements Publics de Bassin - EPTB (10 syndicats de rivières et de 5 EPTB, 2 réponses de l'EPTB Vidourle, 5 directeurs, 11 chargés de mission) (23,2%)
- 11 réponses issues de services de secours et services d'ordre (7 SDIS et 2 polices municipales) (15,9%)
- 4 réponses issues de bureaux d'études et établissements publics (dont Cerema) (5,8%)
- 5 réponses issues d'autres structures (associations, parc régional, fédérations) (7,2%)

IV.2. NIVEAU DE CONNAISSANCE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE

15 personnes parmi les 69 réponses (22%) indiquent ne pas être familiarisées avec les termes de réalité virtuelle et réalité augmentée et n'auraient pas pu définir précisément ces termes avant de répondre à ce questionnaire. Il s'agit en majorité de représentants de collectivités (7/15) et pour une faible part de personnels de services de l'État, services de secours et syndicats de rivière.

❶ **La grande majorité des répondants (78%) appréhendent ce que revêtent les termes de réalité virtuelle et de réalité augmentée, et les différences entre ces deux démarches technologiques.**

IV.3. APRIORIS SUR L'UTILITÉ DE CES TECHNOLOGIES POUR LA PRÉVENTION DES INONDATIONS

La plupart des répondants (64 des 69 personnes interrogées) jugent que ces technologies pourraient servir à la gestion des risques d'inondation.

Parmi les 5 personnes jugeant cette technologie a priori inutile pour la gestion des risques (4 collectivités, un syndicat de rivière), 1 personne indique en fin de questionnaire vouloir la mettre en œuvre sur son territoire, et 4 personnes attendent tout de même de la MIIAM une valorisation des bonnes pratiques ou le test de nouveaux outils.

❶ **Les acteurs confirment tous le potentiel et l'intérêt de mobiliser les technologies de réalité virtuelle et de réalité augmentée au service de la prévention des risques d'inondation sur l'arc méditerranéen. Ils invitent la MIIAM à engager des actions en ce sens.**

IV.4. ATTENTES SUR LES THÉMATIQUES D'UTILISATION DE LA VR / AR

Les personnes interrogées citent en majorité (71%) l'utilisation de ces outils à des fins de **sensibilisation de la population**, en soulignant les avantages recherchés :

- le réalisme permettant de marquer plus profondément l'utilisateur, d'assurer une vision commune et cohérente de l'évènement, de son ampleur, de la rapidité de montée des eaux, du transport solide ;
- la possibilité d'afficher des données de hauteur d'eau, et de visualiser les crues modélisées ;
- l'ancrage de l'outil dans un environnement connu, familier de l'utilisateur : son quartier, voire sa maison.

Cette sensibilisation de la population est imaginée sur écran, et parfois sur place (au droit de repères de crue par exemple).

20 personnes interrogées (29%) citent expressément la **préparation à la gestion de crise** comme un domaine dans lequel ces technologies peuvent être utiles. Les avantages recherchés sont :

- la vision partagée par tous les acteurs d'un scénario commun ;
- la mise en situation pratique des acteurs avec possibilité de valider des prises de décisions, sans mise en danger des autres intervenants, et en mobilisant moins de moyens.

Il s'agit ici de préparer les acteurs, soit lors d'exercices de simulation, soit en tant qu'activité pratiquée en dehors des exercices de simulation, de mise en situation professionnelle. Les acteurs cités sont des personnels de services de secours, des élus, des personnels municipaux, mais également les gestionnaires de réseaux. L'intérêt est également de pouvoir effectuer des gestes techniques (la pose de batardeau est citée) ou tester leurs réactions, prises de décisions, et progresser en rejouant un scénario.

Un SDIS imagine un outil de gestion de crise reposant sur cette technologie et agrégeant des données issues du terrain.

Enfin, la réalité virtuelle et/ou augmentée est citée à 6 reprises (8,5%) en tant qu'appui pour appréhender l'impact d'une infrastructure sur les inondations (dans un processus de concertation par exemple), et le faire percevoir aux élus ou aux riverains (digues, bassins de rétention, mesures de mitigation, projets urbains...).

Certaines idées originales apparaissent dans cette partie du questionnaire :

- la visualisation de sa propre maison lors d'une crue,
- la visualisation des zones du Plan de prévention des risques d'inondations - PPRI,
- la réalité virtuelle appliquée à la conduite sur route inondée,
- la visualisation du transport solide et des objets flottants,
- l'initiation aux bons gestes,
- la présentation d'une cinématique des inondations,
- la visualisation des causes,
- la stratégie opérationnelle augmentée.

❶ **Les deux champs d'application plébiscités par les répondants pour l'utilisation des technologies de réalité virtuelle et de réalité augmentée sont la sensibilisation des populations (développement de la culture du risque) et la préparation à la gestion de crise.**

IV.5. SUGGESTIONS DE VR / AR À DÉVELOPPER

À la question « quelles idées pourraient être développées pour utiliser les technologies VR/AR pour la prévention des inondations au sens large ? », les personnes interrogées identifient principalement 3 grands groupes d'outils :

Le premier correspond aux outils de sensibilisation reposant sur une visualisation de la crue en réalité virtuelle. Il est cité par 38 personnes (soit 55 % des personnes interrogées, et 60 % des personnes jugeant ces technologies utiles). Le public cible cité varie :

- Les élus chargés de décider de la mise en œuvre d'une mesure de prévention, de réduction de la vulnérabilité, de protection, de mitigation... ,
- Les riverains, afin qu'ils appréhendent mieux l'évènement,
- Les élèves, (sensibilisation),
- Les aménageurs (sensibilisation).

Une idée évoquée est celle d'une corrélation entre les hauteurs d'eau et les impacts / dégâts.

On distingue deux méthodologies, l'une reposant sur la création d'une visite virtuelle dont l'itinéraire est préalablement établi (qu'il s'agisse d'un point de vue fixe ou d'un cheminement), et l'autre reposant sur la création d'un environnement complet dans lequel l'utilisateur chemine à son gré. Apparaît ici l'idée d'un site internet permettant à tous de visualiser les zones inondables en « street view », à l'échelle de l'arc méditerranéen.

Le second groupe, cité par 23 personnes, soit 33 % des personnes interrogées, concerne l'utilisation de « **serious game** » en réalité virtuelle, afin d'augmenter les capacités des personnes affrontant la crise. Notons que « Serious Game » (jeu sérieux en anglais) désigne les activités qui combinent une intention « sérieuse » (ici la sensibilisation et l'entraînement) avec des ressorts ludiques. Ce type de jeu est d'ores et déjà développé à l'attention des services de

secours. Les personnes interrogées l'imaginent en majorité ici à l'attention des gestionnaires de crise (élus, personnels municipaux, techniciens), mais il est intéressant de souligner que les riverains sont eux aussi cités en tant que public cible. Les réponses sont également variées de par l'environnement de ces simulations virtuelles :

- l'intérieur de la maison, d'un commerce, d'un établissement, ou d'un quartier, pour le riverain / scolaire, afin d'appréhender l'ampleur de l'évènement, de se former aux bons réflexes, et d'analyser l'intérêt de mesures de réduction de la vulnérabilité. On cite à ce sujet l'idée d'adapter le jeu Rivermed en réalité virtuelle.
- l'intérieur d'un véhicule, pour simuler la conduite sur terrain inondé.
- la commune et l'agglomération pour le gestionnaire de risque, afin d'analyser le déroulement d'une crue et d'améliorer la réponse. Un cas particulier de cette sous-catégorie est l'exercice de simulation virtuel faisant intervenir les collectivités et services de secours, et permettant l'échange d'informations pour la réponse à un scénario particulier, adaptable.
- l'intérieur d'un bâtiment, d'un établissement recevant du public (ERP), d'un commerce, d'un quartier, pour les aménageurs et gestionnaires de sites, afin de prendre les décisions adaptées en phase de conception et d'avant-projet.

Enfin, le troisième groupe, cité par 15 personnes, (24 % des personnes interrogées) concerne **la visualisation des crues en réalité augmentée, sur le terrain**. Les laisses de crues sont souvent citées en tant que point de visualisation, mais l'outil AR n'y est pas limité. L'objectif est de visualiser la hauteur, la vitesse, l'extension ainsi que la dynamique. L'idée d'une visualisation en temps accéléré de la phase de montée, du pic de crue et de la décrue est abordée. Les sites utiles à la gestion de crise pourraient également être visualisés (points de rassemblements, services de secours, routes barrées...). Enfin, il serait possible de visualiser la schématisation des axes d'écoulements, vecteurs vitesse...

Quelques considérations intéressantes apparaissant dans les réponses à cette question :

- Les solutions de réalité augmentée pourraient être associées à de la cartographie interactive afin d'être consultées également lorsque l'on ne se trouve pas sur le terrain.
- Parmi toutes ces propositions, seules deux font directement référence à un territoire : l'Hérault, dans la réponse de l'EPTB FH, et le Guil pour le PNR du Queyras. Les autres propositions restent génériques.
- La visualisation des ruissellements par réalité virtuelle ou augmentée permettrait de rendre ce risque plus tangible.
- L'idée de DICRIM virtuel apparaît, sans description concrète.
- L'utilisation de l'AR/VR pour la phase de gestion de crise fait l'objet d'avis divergents : elle est citée par certains afin d'appuyer l'analyse des impacts et dégâts (ex : l'évolution de la crue en fonction des précipitations observées), et paraît peu pertinente selon d'autres, jugeant que la situation lors d'une crise est par ailleurs trop complexe pour permettre la mise en œuvre d'un tel outil.

Toutes ces idées sont jugées prioritaires par ceux qui les proposent, mais le caractère indispensable n'est pas partagé par tous, la VR et l'AR étant parfois considérées comme un simple complément aux initiatives de culture du risque.

❶ Les principales propositions portent sur des outils de visualisation des crues (sur le terrain ou non) et la réalisation de serious game.

IV.6. MISE EN ŒUVRE DE PROJETS VR/AR PAR LES PARTENAIRES CONSULTÉS.

Parmi les 69 personnes ayant répondu, 9 indiquent mettre en œuvre de façon certaine un projet comprenant une composante VR ou AR au cours des prochaines années (il s'agit souvent d'actions incluses dans l'axe 1 des PAPI en cours de définition ou récemment définis). 9 autres personnes indiquent que l'idée, bien que non formalisée, est à l'étude et pourrait être planifiée au cours des prochaines années. Enfin, Predict Services indique avoir un projet en cours sur le sujet (décrit ci-dessous).

❶ Si la majorité des personnes a confirmé l'intérêt des technologies de réalité virtuelle et de réalité augmentée, peu d'entre elles ont franchis le pas d'une mise en œuvre concrète pour la prévention des risques d'inondation sur leur territoire.

IV.7. CE QUE LES PARTENAIRES ATTENDENT DE LA MIAM DANS LE DOMAINE DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE ET DE LA RÉALITÉ AUGMENTÉE

❶ Le partage d'expérience et la valorisation des bonnes pratiques sont les actions les plus citées avec 45 % des personnes interrogées. Vient ensuite le test de nouveaux outils (36%), puis la mise à disposition de cahiers des charges types et de recommandations (13%).

Parmi les commentaires, figure l'idée que la MIAM pourrait animer un groupe de travail regroupant les acteurs souhaitant travailler sur le sujet, l'un des résultats pouvant être la co-construction d'un outil.

À l'instar des simulateurs « inondation – porte de garage et portière de voiture », la MIAM pourrait mettre à disposition des gestionnaires de risque intéressés un outil ou du matériel.

Citations :

« L'écueil de ce type de projet est la fausse bonne idée. Il faut développer un outil qui pourra apporter une réelle plus-value et qui pourra s'inscrire dans un temps long pour éviter un investissement fort dont la durée de vie est faible »
E. Retailleau, EPTB Gardons

« Je pense que ce genre d'outil ne doit pas être développé chacun dans son coin mais plus largement pour tout l'arc méditerranéen, avec notamment l'aide du ministère pour avoir plus d'impact, d'appropriation des populations ... »
A. Ollagnier, DDTM 13

IV.8. LES INITIATIVES VR ET AR CONNUES DES PERSONNES INTERROGÉES

La moitié des personnes interrogées indiquent connaître des initiatives de VR et AR appliquées à la prévention des risques. En pratique, seule une quinzaine d'initiatives différentes sont signalées, elles sont succinctement présentées ci-dessous. Certaines d'entre elles, citées à plusieurs reprises, ont été présentées lors de la téléconférence « Culture du Risque, le citoyen premier acteur de sa sécurité » organisé le 19 novembre 2020 par le CEREMA.

IV.8.A) Sandbox

(cité par le CEREMA et la DDTM 34)

La RA Sandbox est un dispositif constitué d'un bac avec du sable, d'un vidéoprojecteur, d'un PC relié à une caméra kinect. Elle a été développée par les universités de Californie Davis et de Los Angeles.

Dans cette RA Sandbox, il est possible de modéliser le relief et d'afficher en temps réel des courbes topographiques adaptatives. Elle permet d'autre part de modéliser des précipitations et leurs écoulements en fonction du relief.

<https://arsandbox.ucdavis.edu/technical-resources/downloads/sandbox-2/>



Commentaire : Il s'agit d'une solution à mettre en œuvre en présence du public, très attractive et ludique, relativement peu coûteuse en matériel mais nécessitant une certaine préparation, permettant de travailler la représentation cartographique, et d'être initié aux concepts de bassin versant, concentration des eaux. Destiné à un public jeune ou pour créer un premier attrait vers un stand.

IV.8.B) Weather channel

Weather Channel, canal de présentation des prévisions météorologiques des états unis, (cité par le CEREMA) a effectué des effets spéciaux vidéo (montages sans modélisation) avec bruitage, objets flottants, mouvements légers de caméra, en ville. Un commentateur est inséré dans l'image, dans une « bulle protectrice », et commente les dangers au fur et à mesure que l'eau monte, en donnant les consignes. Le réalisme est limité mais l'impression de danger est efficace.

https://www.youtube.com/watch?v=PvJuocemHS4&feature=emb_rel_end



Commentaire : Solution impliquant la modélisation préalable d'un écoulement avec rendu réaliste puis l'insertion du commentateur filmé sur fond vert. Lorsque l'on dispose de moyens importants, cette solution peut être réalisée en direct, le fond vert étant remplacé par un écran led de très grande dimension.

IV.8.C) Exp'Eau, mémoire du risque inondation dans l'Aude

Mayane et Real illusion ont réalisé pour le SMMAR un environnement virtuel 3D permettant de visualiser le bassin versant et comprenant des icônes donnant accès à des vidéos.

<https://www.youtube.com/watch?v=cTQ0subwEXY>

<https://www.realillusions.io/expeau-memoire-du-risque-inondation-dans-laude-a-carcassonne-en-realite-augmentee-real-illusions/>



Commentaire : Cet essai permet de s'appuyer sur une vision en réalité virtuelle du territoire pour cliquer sur des icônes menant à des informations touchant au risque inondation mais ne s'appuyant pas sur les technologies AR/ VR.

IV.8.D) Solutions internes de Predict Services

(informations issues d'un entretien téléphonique avec le directeur de Predict Services)

Predict services dispose d'un outil SIG 3D développé avec l'entreprise IGO sur l'outil TerraExplorer, dans lequel les zones inondables ont été intégrées, corrigées, et transformées en surfaces 3D. La visualisation de ces données par le biais d'un casque de réalité virtuelle est utilisée en tant

qu'outil d'expertise d'une part, et afin de présenter aux élus et autres clients les zones menacées sur leur territoire d'autre part. La surface d'eau ne présente pas de mouvement ni de rendu réaliste.



Commentaire : cette solution, apparemment apprécié des élus, permet de visualiser la hauteur d'eau de façon plus intuitive, et notamment la ligne d'eau sur les bâtiments. Un travail d'expertise et d'intégration sur les enveloppes de crues, et notamment leur adaptation aux échelles visibles en VR, a du être réalisé par Predict. L'enveloppe de crue présentée n'est donc pas exactement la donnée officielle.

IV.8.E) Institut Paris Région, visualisation des zones inondables de la Seine et des enjeux impactés

Séquence vidéo dans un environnement 3D avec reconstitution de la crue et bâti sur la boucle de Gennevillier et autres secteurs de la seine : Ces vidéos de 2017, à voir sur écran conventionnel, s'appuient sur l'inclusion d'une surface d'eau légèrement animée dans un environnement de type Google Earth pour les vues d'ensemble, et de type RealEngine pour les vues de monuments.

<https://www.youtube.com/watch?v=lvaHApImr94>



Commentaire : Cet outil relativement « classique », (visualisation sur écran conventionnel et ne s'appuyant pas sur un rendu réaliste), permet une présentation géographique de l'emprise de crue, et une appréhension de l'ampleur de celle-ci.

IV.8.F) IGNIS, Entente Valabre

Projet européen IGNIS, simulateur en réalité virtuelle sur la thématique grands feux de forêt (apprentissage du commandement pour les cadres), serious game. Société XVR, couplé avec un moteur de feu. Cette expérience VR est décrite dans le chapitre V.

IV.8.G) Visualisation réaliste d'une crue centennale à Brignoles

Syndicat mixte de l'Argens, (SMA), MIIAM

Le SMA et la MIIAM ont fait réaliser par « Pierre Scholl, Risques Naturels et Communication » une visualisation réaliste de la crue centennale modélisée sur un secteur à enjeu de la ville de Brignoles. Cette séquence d'une trentaine de secondes fait intervenir les techniques d'effets spéciaux cinématographiques, et aboutit à un résultat réaliste et scientifiquement cohérent.

https://www.youtube.com/watch?v=or_GFf2c5_A

<http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/experimentation-sur-le-bassin-versant-de-l-argens-a10912.html>

IV.8.H) Visualisation à 360 degrés et en 3 dimensions de la crue centennale de l'Yseron

(cité par la DDTM 13, et l'EPTB du bassin de l'Ardèche)

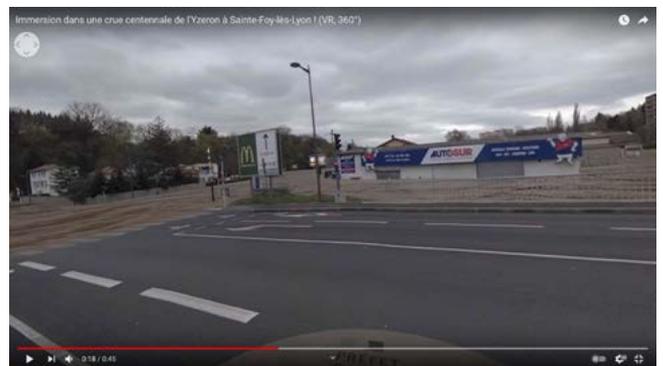
Le SAGYRC dans le cadre de son PAPI, a demandé à Pierre Scholl Risques Naturels et Communication de réaliser 3 séquences de 30 secondes permettant de voir dans un casque de réalité virtuelle une crue centennale telle que modélisée, sur 3 secteurs différents. Le rendu fait intervenir des effets spéciaux cinématographiques et comporte une bande son, ainsi qu'une transition de type fondu enchaîné

entre l'état « normal » et l'état « en crue ». En absence de casque VR, l'outil peut être visualisé en 360 2D.

<https://www.youtube.com/watch?v=U4o-jg4x9BA>

<https://www.youtube.com/watch?v=p6fRPT2-blg>

https://www.youtube.com/watch?v=Z_jg00XWXVsY



L'application smartphone des 3 sentiers de la Brague

A vos écouteurs pour une immersion dans l'écosystème de la Brague !

Pour cela téléchargez gratuitement l'application Smartphone "La Brague" à partir d'une connexion Wi-Fi directement sur l'AppStore ou Google Play ou en flashant ce QRcode.

Des bornes Wi-Fi sont à votre disposition aux Offices de Tourisme notamment de Biot et de Valbonne.

Devenez éco-citoyen de la Brague !

Les jeux proposés le long du sentier de la Brague donnent des points pour l'obtention du diplôme d'éco-citoyen de la Brague.

Le S.I.A.Q.U.E.B.A. assure la gestion environnementale de la Brague et ses affluents pour le compte de 10 communes du bassin versant. Pour compléter ses missions opérationnelles de travaux et de lutte contre les pollutions, le S.I.A.Q.U.E.B.A. vous propose un outil ludo-pédagogique pour découvrir la richesse naturelle et patrimoniale de ce petit fleuve côtier. Bonne promenade...

Le S.I.A.Q.U.E.B.A.
Syndicat Intercommunal de l'Amélioration de la Qualité des Eaux de la Brague et de ses Affluents
www.riviere-brague.fr

IV.8.I) Application La Brague

(cité par la Communauté d'Agglo Sophia Antipolis)

Il s'agit d'une application créée par « Sons des sens », permettant d'accéder à des informations sur le cours d'eau en divers points, en s'appuyant sur la localisation GPS. L'application est téléchargeable sur Google Play et AppStore (voir plaquette en page suivante).

<https://www.agglo-sophiaantipolis.fr/sortir-et-decouvrir/a-la-decouverte-du-patrimoine/application-smartphone-pour-la-brague>

IV.8.J) Montages photographiques

(Région Occitanie, Yzeron, Arc...)

Plusieurs acteurs citent l'intégration sur des photographies prises en temps normal d'inondations réalistes s'appuyant sur des lignes d'eau modélisées. Ce travail a été réalisé entre autre sur l'Arc (SABA), l'Yzeron (SAGYRC, P. Scholl), la région Occitanie.

<https://pierrescholl.com/prestations/risques-naturels/>

https://www.cerema.fr/system/files/documents/2020/12/2-1_sagycr.pdf

Les photomontages sont aussi la base des affiches de sensibilisation aux comportements à risques lors d'inondation que la MIIAM a produite en s'appuyant sur Pierre Scholl, Risques Naturels et Communication.

<http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/affiches-comportements-a-risques-r2696.html>



Commentaire : on peut assimiler ces outils de communication à de la réalité virtuelle, bien qu'il ne s'agisse pas d'outils novateurs ni de technologie complexe. L'affiche animée réalisée dans le cadre de la campagne de sensibilisation aux comportements à risque par la DREAL fait toutefois intervenir une modélisation en 3D de l'intérieur d'une cave, et l'ajout d'une masse d'eau en mouvement sous logiciel Blender ainsi qu'un compositing sous Adobe After Effects.

<http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/affiches-comportements-a-risques-r2696.html>

IV.8.K) Projet PRODIGE

(Interreg, ANCT)

Le projet PRODIGE (Protéger les citoyens, Défendre les infrastructures, Gérer les grands événements) renforce la collaboration entre les autorités italiennes et françaises chargées de la gestion de crise en améliorant leur capacité à mener des opérations communes face aux catastrophes naturelles et humaines grâce à la création de moyens innovants d'entraînement des agents, basés sur la réalité virtuelle alliée aux techniques de gaming (serious game).

Une plateforme de réalité virtuelle permet aux équipes de secours transfrontalières de s'entraîner sur 4 scénarios, deux d'entre eux concernant des crues torrentielles. Chaque

scénario fait intervenir divers choix des opérateurs, ceux-ci manipulant des objets (barrières, hélicoptères...) des données, et des communications.

Cette plateforme s'appuie sur le logiciel EVE, acquis par le SDIS 04. La construction du scénario fait intervenir un grand nombre de logiciels d'acquisition de données et de conception 3D, dont Blender et la suite Adobe. L'exploitation nécessite une installation complète (réseau local, stations de travail, casques et autres équipements (gants) de réalité virtuelle, plateformes).

Un prix indicatif de 180 000 euros est proposé pour la mise en œuvre d'une telle solution sur un territoire.

<http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/valorisation-prodige-et-proterina-3-r2691.html>

Commentaire : Ce projet est un exemple abouti de serious game visant à améliorer la gestion de crise par le biais de l'augmentation des capacités des services de secours. Cette initiative pourrait être étendue à la formation des élus et gestionnaires de risques locaux. Le rapport du projet est disponible sur internet et comporte beaucoup d'informations permettant la compréhension et la réplique de l'initiative.

IV.8.L) PROTERINA

(Interreg, ANCT)

Ce projet ne comporte pas de volet de conception d'outil de réalité virtuelle mais vise à rendre les nouvelles technologies accessibles aux gestionnaires de risques concernés par les inondations.

<http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/valorisation-prodige-et-proterina-3-r2691.html>

IV.8.M) Flood Ar

(Plan Rhône)

Le projet FLOOD'AR vise à créer des géovisualisations 3D du déroulement temporel d'une inondation, pouvant être consultées par un public large sur des dispositifs mobiles et tactiles (typiquement tablettes et smartphones). Les hauteurs d'eau d'une crue à différents pas de temps au cours de la montée des eaux sont reportées en tant que surface d'eau sur un environnement 3D issu de données topographiques et géographiques de l'IGN (BD topo, BD Bati 3d...). Le résultat est visualisable sous forme de visites préalablement définies, et ce sur smartphone ou écran en 2D, ainsi qu'en 3D sur casque de réalité virtuelle ou smartphone avec un dispositif stéréoscopique (ex : cardbord). Une étape préalable de modélisation des repères visuels non présents dans les bases de données est nécessaire. Les logiciels de création 3D et de création de visite virtuelle utilisés sont respectivement Spaceyes 3D et Panotour Pro.

Commentaire : Le résultat n'a pu encore être testé par l'auteur. Contact a été pris pour analyser cette initiative de façon plus approfondie mais les référents ne sont pas parvenus à trouver des disponibilités pour en discuter.

<https://docplayer.fr/55792845-Flood-ar-geovisualisation-3d-realite->

virtuelle-et-realite-augmentee-au-service-de-la-sensibilisation-du-public-au-risque-d-inondation.html



IV.8.N) Littosim

(CNRS, IRD, Comm Comm de l'île d'Oléron, DDTM, Région nouvelle aquitaine, Fondation de France, Hypothèses)

<https://littosim.hypotheses.org>, cité par la DREAL Occitanie

Simulation participative : Atelier de 8 à 12 personnes (élus et techniciens), 4 équipes, une tablette par équipe, une commune par tablette. Les communes sont limitrophes. Les joueurs prennent des décisions d'aménagement (occupation, type d'habitat, protection du littoral, renforcement des digues...) et observent l'effet de ceux-ci sur la modélisation de la submersion marine. A la fin de chaque tour d'aménagement, une submersion. On discute ensuite des stratégies utilisées et de leurs résultats.



Commentaire : à l'attention des élus, cette initiative pourrait être développée pour les inondations. Peut-être ce développement est-il en cours. Il est difficile de classer cette initiative dans la catégorie « réalité virtuelle », même s'il s'agit bien de l'exploitation d'un modèle numérique.

IV.8.O) Travaux de M. Costa de l'Université de Caen

(LETG Caen Geophen) (cité par la DREAL)

<https://www.youtube.com/watch?v=aaD0SvS6-xU>

Financé par la Région Normandie et la Fondation de France, ce projet « Raiv Cot » s'appuie sur le Centre Interdisciplinaire de Réalité Virtuelle (CIREVE) pour la mise en œuvre technique.

Il s'agit d'une restitution d'une montée des eaux sur une rue de Caen (non inondable en vrai, mais choisie pour des

raisons pratiques de proximité avec l'université) par le biais de simulation de fluide et rendu « réaliste ».

Commentaire : Très similaire à ce qui a été fait sur la ville de Brignoles par Pierre Scholl sous financement du SMA et de la MIIAM DREAL région sud, cette séquence vidéo diffère par le moment de la crue simulé, le projet de Brignoles présentant le pic de crue alors que celui de M. Costa présente la montée des eaux.

IV.8.P) Musée Résilient : Projet MRI,

(cité par la DDTM 66)

Ce projet comporte une phase d'évaluation de la vulnérabilité des « Musées de France », l'élaboration de guide méthodologiques et d'outils de soutien aux musées pour la réduction de leurs vulnérabilités et la préparation face aux inondations, ainsi que l'élaboration d'un musée type en 3D et la création d'une expérience virtuelle simulant un scénario d'inondation et permettant aux équipes de créer ou d'affiner leurs plans d'action en cas de crise.

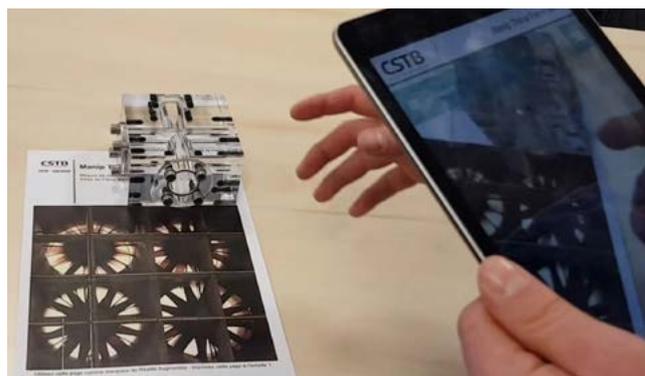
<https://hal-amu.archives-ouvertes.fr/hal-02376899/document>



IV.8.Q) CSTB

Démonstration sur un stand filmé : <https://vimeo.com/326203064>

Le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment a créé une application de réalité augmentée permettant de visualiser les lignes de courant d'air issus de simulations en soufflerie autour des objets testés, et ce en superposition des images issues des caméras des tablettes et téléphone portable. Ceci passe par l'ajout d'un marqueur qui va permettre de référencer l'objet virtuel dans l'environnement réel. L'entreprise sollicitée pour cette application est ImmersionTools. Le CSTB et immersion tools ont été joint par téléphone, et l'expérience est décrite plus précisément dans le chapitre V.



IV.8.R) SECOAS Simulateur d'Entrainement à la Coordination des Opérations Aériennes de Secours

<https://www.valabre.com/presentation/infrastructures/secoas>

L'entente Valabre a été contactée par téléphone, et ce projet est décrit dans le chapitre V.

IV.8.S) Sismo Truck 360°

Les POMPIERS DE L'URGENCE INTERNATIONALE, en partenariat notamment avec l'AFPS -Association Française du Génie Parasismique finalisent la création du premier véhicule de simulation sismique en réalité virtuelle en France et en Europe. De la réalité mixte sera également prévue pour apprendre les gestes de protection (protection sous une table, coupure du gaz et fermeture d'une fenêtre) en virtuel.

IV.8.T) Projet 360, en cours, de l'Entente Valabre et de la MIIAM

La MIIAM et l'Entente Valabre, en partenariat avec le syndicat du Gapeau, la DDTM du Var, la DREAL PACA et le Service de Prévision des Crues Méditerranéen-Est, ont commandé la réalisation de visites virtuelles à l'aide d'une caméra 360° au service de la prévention des risques d'inondation. Utilisée sur un tronçon du Gapeau, cet outil permet de découvrir au fil du cours d'eau, les problématiques et les outils clés ainsi que les acteurs institutionnels de la prévention des risques d'inondation.



ENQUÊTE TÉLÉPHONIQUE

V. ENQUÊTE TÉLÉPHONIQUE

L'enquête téléphonique s'est tenue durant les mois d'avril et de mai 2021. Les personnes et structures préalablement identifiées avec le maître d'ouvrage ont accepté d'avoir une discussion ouverte avec Pierre Scholl sur le sujet. L'objectif était de comprendre les initiatives AR/VR développées par ces acteurs, le public visé, les partenaires techniques et financiers, les résultats obtenus, les bonnes pratiques et écueils rencontrés, les budgets alloués et les éventuelles possibilités de répliation.

Ces sujets ont été plus ou moins développés suivant la disponibilité de la personne jointe.

V.1.A) Entente Valabre

Contact : Lieutenant-Colonel Jean-Frédéric BISCAY, Directeur adjoint du Centre d'Essais et de Recherche de l'Entente Valabre, Chef du Simulateur d'Entraînement à la COordination Aérienne de Secours - SECOAS



Description des initiatives VR / AR développées ?

L'Entente Valabre dispose de deux centres de formations mettant en œuvre des solutions de réalité virtuelle, l'un à Aix-en-Provence, en service depuis une vingtaine d'années, et l'autre à Nîmes, ouvert depuis 7 ans.

IGNIS est le programme européen de recherche visant à développer l'utilisation d'un simulateur dans le cadre de la formation aux feux de forêt. IGNIS est aussi le nom du moteur de feu développé pour générer une propagation libre dans l'environnement virtuel.

SECOAS est le centre de formation de Nîmes-Garons dans lequel les stagiaires peuvent avoir accès aux outils de simulation. **Ce centre est initialement axé sur le domaine des environnements opérationnels aéronautiques**, (coordination des opérations aériennes de secours, feu de forêt, drone) **mais s'ouvre maintenant à la formation des acteurs en matière de gestion des crises d'inondation**, et ce à un échelon national. La première de ces formations a lieu en mai 2021 et accueille 12 personnes, émanant de la sécurité civile et d'administrations.

Ce centre peut accueillir jusqu'à 22 acteurs en simultané. Il s'agit principalement du personnel du SDIS, mais également d'autres fonctionnaires qui ont à connaître la problématique

(ex : préfectures, DDT, élus de mairies et communautés de communes).

Avec environ 500 stagiaires par ans depuis 20 ans, les formations SECOAS ont touché de l'ordre de 10 000 professionnels.

Les formations durent en général une ou deux semaines, et s'appuient sur l'outil de simulation à hauteur de 20 à 80 % du temps de formation (le reste du temps étant dédié à la formation théorique et les exercices sur table). Pour les feux de forêt par exemple, où le stagiaire apprend à lutter contre l'aléa, l'outil de simulation est central pour comprendre l'impact des décisions d'attaque de feu sur l'évolution de l'incendie.

Concernant le risque inondation, le gestionnaire de risque agit de façon moindre sur l'aléa. Le stagiaire n'agit pas directement sur le terrain mais l'efficacité de sa réponse dépend fortement des prises de décision organisationnelles dans un contexte inter-services. Les exercices sur table (Table Top Exercises) prennent un temps plus important dans la formation.

A des fins de réalisme, certaines visualisations des inondations font intervenir la superposition d'images réelles de crues sur un environnement virtuel. En revanche la réalité augmentée en temps réel n'est pas utilisée pour l'instant, celle-ci mobilisant des ressources informatiques trop importantes pour une utilisation fluide de l'outil.

Le logiciel utilisé pour la gestion de l'environnement virtuel et ses interactions avec l'utilisateur s'appelle XVR. Les développements des environnements virtuels comme des scénarios sont réalisés en interne, par une équipe d'informaticien (4 personnes lors du développement initial de l'outil, 1 personne aujourd'hui, recevant le support ponctuel d'autres équipes de l'Entente si besoin). A titre d'exemple, le développement d'un nouveau scénario mobilise un informaticien sur 3 à 5 jours.

L'un des axes d'amélioration de l'outil concerne le réalisme de l'inondation dans l'environnement virtuel, notamment en domaine torrentiel. L'utilisation de la réalité virtuelle pour la formation du grand public est également à l'étude. D'autres perspectives de développement sont en cours mais ne peuvent encore être rendues public.

La répliation de la solution développée par d'autres structures sur l'Arc Méditerranéen ne fait pas partie des priorités de l'Entente Valabre. En effet, le financement de cette dernière dépend à 80 % des programmes de recherche et des formations qu'elle met en œuvre, et le fort investissement lié aux deux plateformes de formation devrait dans un premier temps être rentabilisé.

A ce propos, la fréquentation des plateformes de formation n'a pas encore atteint sa capacité maximale, et il paraît important de faire connaître ces formations, leurs spécificités, leur plus-value auprès des administrations, des SDIS, des collectivités, afin de faire venir plus de stagiaires.

Cet objectif est atteignable car le nombre de personnes concernées par la formation est très important, notamment

si l'on prend en compte les élus (12000 communes sur l'Arc Méditerranéen, et plusieurs élus concernés par communes). D'autre part le coût à la semaine (de l'ordre de 3000 euros) n'est pas excessif pour ce genre de formation.

Le Lieutenant-Colonel Biscay souligne qu'il vaut mieux que ces formations soient dispensées par des professionnels de la sécurité civile. Ce dernier souligne l'importance d'une formation pour profiter pleinement d'un exercice de simulation.

L'entreprise CRISE, également située sur le site de l'Entente Valabre est évoquée lors de la conversation, cette dernière ayant également mis en place une plateforme VR s'appuyant sur un autre logiciel.

D'un point de vue budget, la mise en œuvre d'un centre de formation tel que le SECOAS correspond à un investissement avoisinant les 750 000 euros.

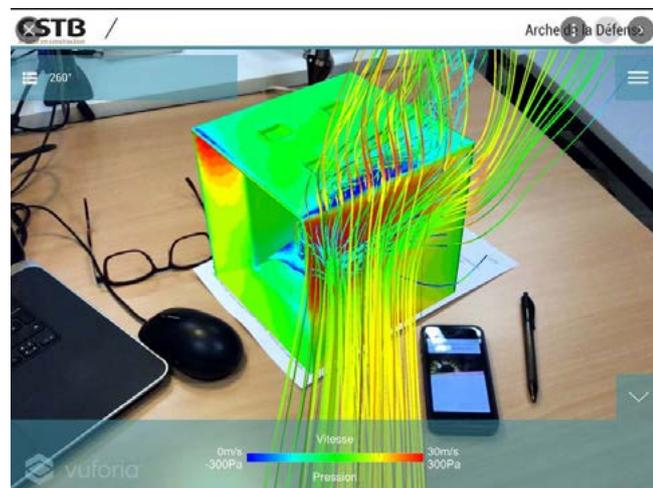
V.1.B) CSTB / immersion tool : réalité augmentée permettant de modéliser les lignes de courant (immersion tool)

Contact : Sylvain Aguinaga

Le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) est un établissement public au service de l'innovation, la qualité et la sécurité dans le bâtiment. Son antenne de Nantes, spécialisée dans la modélisation atmosphérique et disposant de soufflerie, touche de ce fait de nombreux secteurs au-delà du bâtiment.

Afin de fournir un outil original de visualisation des données aux entités ayant commandé des études aérodynamiques et atmosphériques, le CSTB de Nantes a développé un outil de visualisation des résultats de modélisation s'appuyant sur la réalité augmentée et la réalité virtuelle.

Il s'agit d'une application téléchargeable depuis l'apple store ou google play, nommée CSTB Xperience, développée pour et avec le CSTB par la start-up Immersion Tools (Hughes Beauvieux, <https://immersion.tools/fr/contact>).



L'application s'appuie sur le moteur de rendu « Unity », et l'environnement de réalité augmentée « Vuforia ». L'utilisateur visualise par le biais de la caméra de son smartphone l'environnement auquel sont ajoutés des objets virtuels :

- les lignes de courant d'air issues des modélisations,
- les forces de pression exercées sur l'objet étudié,
- les forces de pression au sol,
- mais aussi éventuellement d'autres objets (bâtiments situés autour du bâtiment testé par exemple).

Afin de positionner les objets virtuels dans l'environnement réel il convient d'avoir dans le champs de la caméra un repère, ou **marqueur** (ici, une image spécifique, carrée, de 19 cm de coté).

Le CSTB a financé seul la création de cet outil, dans le cadre de la rénovation de la soufflerie qui comportait un volet de modernisation informatique /TIC. Le retour des utilisateurs est très positif (effet Waou, effet didactique). Toutefois, les retombées ne sont pas toujours optimales car la mise en œuvre de l'outil de visualisation exige quelques efforts de la part de l'utilisateur (installation de l'application, téléchargement de données, familiarisation avec l'outil, impression du repère). D'autre part, l'étape de conversion des données, réalisée par le CSTB pour chaque expérience de visualisation, est longue et parfois incertaine. Le CSTB développe actuellement des solutions pour rendre cette étape plus efficace.

Le positionnement précis de l'objet virtuel dans un environnement réel constitue également un défi. Les images repères doivent être imprimés au bon format, positionnés précisément, et visualisable en permanence par l'objectif du téléphone. La taille du repère doit être d'autant plus grande que l'objet à positionner est grand.

L'un des axes d'amélioration de cette application est la prise en compte des déformations optiques liées aux différentes caméras embarquées sur smartphone.

Les terminaux récents de la société Apple disposent d'une technologie embarquée lidar qui pourrait permettre de palier aux défauts des marqueurs (reconnaissance automatique d'un environnement et positionnement du terminal dans cet environnement). Une option serait de adapter l'application à cette nouvelle technologie, mais cela engendrerait la non compatibilité avec les smartphones moins récents, ce qui constitue un frein.

Notons que chaque projet exige la modélisation en 3D de l'objet testé en soufflerie. Cet objet est intégré dans l'environnement virtuel ce qui permet le masquage des objets virtuels situés derrière lui. Par conséquent la visualisation de l'objet et des données de modélisation peut si besoin se faire en l'absence de la maquette ou de l'objet. Seul le repère est alors nécessaire, et l'expérience de réalité augmentée se transforme en expérience de réalité virtuelle.

L'ordre de grandeur de l'investissement financier nécessaire au développement de cette solution est de 45 000 euros.

V.1.C) SDIS 04 : projet PRODIGE et RiskFor

Contact : Capitaine Sébastien Méric, chef du service formation.

Le projet PRODIGE (Protéger les citoyens, Défendre les infrastructures, Gérer les grands événements) renforce la

collaboration entre les autorités italiennes et françaises chargées de la gestion de crise en améliorant leur capacité à mener des opérations communes face aux catastrophes naturelles et humaines grâce à la création de moyens innovants d'entraînement des agents, basés sur la réalité virtuelle allié aux techniques de gaming (serious game).

Le projet PRODIGE a été prolongé par le projet Riskfor visant à poursuivre le développement des outils VR et à soutenir les efforts de formation des acteurs à l'utilisation de ces outils. Le SDIS 04 est l'un des départements bénéficiaires du projet (figurent également en France le Conseil départemental des Hautes Alpes et le SDIS de Savoie).

Une plateforme de réalité virtuelle permet aux équipes de secours transfrontalières de s'entraîner sur les scénarios qu'ils choisissent de développer. Les projets PRODIGE et RISKFOR ont permis de doter les départements en matériel informatique et de former des personnes à l'utilisation du logiciel et à la création des scénarios afin d'adapter l'outil aux besoins et contextes locaux.

A titre d'exemple, les ressources disponibles sur internet montrent 4 scénarios, deux d'entre eux concernant des crues torrentielles. Chaque scénario fait intervenir divers choix des opérateurs, ceux-ci manipulant des objets (barrières, hélicoptères...) des données, et des communications.

La plateforme de réalité virtuelle s'appuie sur le logiciel EVE. Les formations sont assurées par la société CRISE qui a mis en place l'outil.

La construction du scénario fait intervenir un grand nombre de logiciels d'acquisition de données et de conception 3D, dont Blender et la suite Adobe. L'exploitation nécessite une installation complète (réseau local, stations de travail, casques et autres équipements (gants) de réalité virtuelle, plateformes).

Un prix indicatif de 180 000 euros est proposé pour la mise en œuvre d'une telle solution sur un territoire.

Selon M. Meric, l'outil est efficace et pertinent, mais le développement de scénarios adaptés au contexte local représente un investissement en temps et en ressources humaines important (de l'ordre de 2 à 3 temps pleins). Le SDIS des Alpes de Haute Provence n'a pas choisi cet investissement et l'outil n'a donc été que partiellement exploité. D'autres départements (la Savoie par exemple) ont réalisé des investissements conséquents afin de développer cette solution (ressources humaines, locaux, création d'un centre de formation dédié).

V.1.D) Projet REVE Côt, réalité virtuelle et villes côtières

Contact : Stéphane Costa (Université de Caen, CNRS LETG 6554), Sophie Madeleine (Directrice) et Charlie Morineau (ingénieur de recherche), Université de Caen, Centre interdisciplinaire de réalité virtuelle (CIREVE)

Ce projet financé par la région Normandie et la Fondation de France, et porté par l'université de Caen, en collaboration avec les universités de Rouen et de Brest, vise à caractériser l'impact de la submersion de 1999 sur certaines villes



Ce projet a débuté il y a 3 ans. La modélisation de l'écoulement historique a été réalisée via le logiciel Xbeach, et les résultats de la modélisation de la crue de 1999 ont été validés par les élus qui ont vécu cette inondation historique. Le modèle a ainsi pu être exploité pour produire les écoulements qui auraient lieu sur ces mêmes communes en l'an 2100 si survenait une tempête similaire dans un contexte de surélévation du niveau moyen des mers de 1m.

Sur cette base théorique, le CIREVE a créé des visualisations réalistes des crues de 1999 et « 2100 » en exploitant le logiciel 3DSmax, son plugin PhenixFD et le moteur de rendu Xray ainsi qu'un compositing sur unity 3D, le tout pour une visualisation 3D à 180°.

Les délais de réalisation et coûts correspondant sont conséquent, les modélisations de fluides et rendus pouvant tourner sur ordinateur de l'ordre d'un moins lorsque la scène est grande et que la maille est petite. Le CIREVE dispose pour ce faire d'une équipe de 3 ingénieurs à temps plein et a investi dans des ordinateurs puissants. Ci-dessous un lien vers un exemple de rendu.

<https://youtu.be/YZYGnWMzFc>

Le CIREVE a mis en œuvre également des solutions moins longues et moins coûteuses (réalisations de plans d'eau animés via le logiciel unity 3D seul), mais le rendu est moins convainquant. Une troisième tentative a été réalisée avec le logiciel Hudini, mais le gain de temps recherché n'est pas paru décisif.



ENQUÊTE SUR INTERNET

VI. ENQUÊTE SUR INTERNET

VI.1.A) VR Flood, a 360VR flood experience

https://www.youtube.com/watch?v=f_pFe3Jglvw

Créée par le Regional Flood Control district, cette expérience en 2D et 360°, cette animation (type dessin animée) montre comme une voiture se fait embarquer par l'eau et fini dans le cours principal, pour être finalement sauvé par les pompiers dans une situation presque sans espoir. L'atout de cette simulation, outre le réalisme de son scénario, est la qualité de la bande sonore, l'acteur voix off réussissant à entraîner le spectateur dans cette dramatique aventure.



VI.1.B) 360-degree video ! Escaping the submerged car [Virtual trial]

<https://www.youtube.com/watch?v=XNTNS8hIWZ8>

Cette vidéo de la fédération japonaise automobile est filmée à 360 degrés dans une voiture réelle qui est immergée dans l'eau au sein d'un bassin. On y voit l'eau monter peu à peu et la conductrice qui ne peut ouvrir la porte et fini par devoir briser la fenêtre. Cette vidéo à visionner dans un casque VR de préférence, accompagnerait favorablement le démonstrateur « portière de voiture » par exemple.



VI.1.C) two°C - New-York City

Film de Claire et Max, Menilmonde :

<https://vimeo.com/219649214>

Ce film met en scène la montée des eaux à New York en utilisant une succession de plans fixes sur lesquels ont été intégré des surfaces d'eau animé d'ondulations, avec un rendu réaliste des reflets qui aura nécessité la modélisation sommaire de l'environnement en 3D.

Commentaire : les plans filmés et le montage soulignent le sérieux de la réalisation. En revanche, l'absence d'objet flottant et l'uniformité des ondes qui animent l'eau réduit le réalisme.



VI.1.D) Réalité augmentée mobile pour la visualisation des inondations

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815217302529#bib8>

L'université de Sheffield, au royaume uni, a mis au point et présenté en 2018 un prototype d'application mobile de réalité augmentée permettant à l'utilisateur, sur le terrain, de créer une représentation en 3D du terrain existant et d'y appliquer une surface d'eau à une hauteur qu'il détermine. L'application s'appuie sur les capteurs embarqués dans le smartphone et permet à titre d'exemple de digitaliser sur le terrain un pont en 3D et son terrain environnant, et de visualiser sur ce modèle de terrain la hauteur d'eau souhaitée.

Le système s'appuie sur le Java Development Kit Application Programming Interface (JVM API), Open GL et Vuforia Software Development Kit (SDK)



Commentaires : L'avantage du dispositif est d'allier la visualisation virtuelle et l'expérience de terrain. L'étape de conception en 3D du terrain reste toutefois un exercice légèrement technique, accessible seulement au public un tant soit peu initié aux nouvelles technologies, et disposant de quelques dizaines de minutes sur place. L'application n'est pas disponible sur les plateformes habituelles de téléchargement. L'étude conclue sur l'utilité de la réalité augmentée mobile pour la prévention des inondations, mais l'insuffisance du module de modélisation 3D sur site actuellement utilisé.

VI.1.E) Jumeau numérique, et simulation d'inondation en réalité augmentée et virtuelle

L'université de Bentley travaille à la création de jumeaux numériques (digital twins) de quartiers urbains et d'infrastructures. Ces modèles numériques décrivent tous les pans de l'état et du fonctionnement physique d'un lieu. Ils sont utilisés entre autre pour la prévention des inondations selon les principes habituels de croisement de données d'aléas et de vulnérabilité. Leur existence préalable rend plus aisée la visualisation en réalité augmentée (sur le terrain) et en réalité virtuelle (en intérieur) des hauteurs d'eau. L'expérience est montrée dans la vidéo suivante, (<https://www.youtube.com/watch?v=HdAFr-BnkGI>) mais aucune publication spécifique à cette expérience de visualisation n'a trouvée.

Notons que la Florida Atlantic University semble réaliser un travail similaire (<https://www.youtube.com/watch?v=y-lsLu4RDpg>)



Commentaires : Lorsqu'un quartier ou une ville dispose d'un jumeau numérique et d'une modélisation de crue, il devient aisé de visualiser le niveau d'eau en réalité augmentée et en VR. Dans cet exemple le réalisme de la surface d'eau n'est pas travaillé.

Si l'objectif est de fournir une sensation de réalisme en réalité augmentée, sur un cours d'eau en extérieur, alors il convient de rechercher une concordance entre les conditions météorologiques lors de l'expérience, sur site par l'observateur et les conditions météorologiques utilisées pour la création de la surface d'eau virtuelle. En effet l'aspect de cette dernière dépend en très grande partie des rayons qu'elle reflète en provenance du ciel.

Il pourrait ainsi convenir de modéliser la surface d'eau suivant différentes conditions d'ensoleillement. L'opportunité d'ajouter sur la partie émergée de la visualisation un filtre en luminosité, contraste, couleurs... permettant de mettre en concordance les deux environnements pourrait être étudiée.

VI.1.F) Disaster Scope : Expérience simulée d'inondation par réalité augmentée utilisant GoogleARCore Depth API

Contact : Itamaiya Labs, Dr Tomoki Itamiya, Yokosuka, Japon

https://preparecenter.org/sites/default/files/gdpc_casestudy_09_disasterscope.pdf

<https://www.youtube.com/watch?v=Yq3VxL08gNo>

Disaster Scope place l'utilisateur dans un scénario de catastrophe en utilisant la réalité augmentée pour superposer des simulations générées par ordinateur dans le monde réel. L'application peut superposer deux situations de catastrophe virtuelle, l'une d'inondation avec des débris flottant et l'autre d'incendie avec de la fumée. L'expérience dure 3 minutes environ et nécessite l'utilisation d'un smartphone récent doté d'une technologie spéciale de numérisation 3D ainsi que d'un casque de réalité virtuelle (ou cardboard). Ce dispositif prend la forme d'une application (non disponible, et qui sera à terme vendue sous forme de licence ou louée avec des casques de visualisation). Elle est destinée principalement aux enfants de plus de 8 ans, et repose sur le moteur 3D Unity et sur la technologie de capteurs 3D disponible sur des smartphones récents. Le module de réalité augmentée est Google ARCore et Tango SDK. Le dispositif est ainsi capable de reconnaître la hauteur du smartphone par rapport au sol, et la distance par rapport aux obstacles. La surface d'eau est relativement travaillée, et la présence d'objets flottants, de courants changeants, de pluie vient améliorer le réalisme.



VI.1.G) Crue Simulator VR : formation en réalité virtuelle à la gestion des ouvrages hydroélectrique en crue

Crue Simulator VR est une formation en réalité virtuelle à la gestion des ouvrages hydroélectrique en crue, développée par la société Numix. Le constat dressé par Numix et ayant conduit au développement de cette formation est que peu d'agents dans leur carrière, ont eu l'occasion de gérer une crue, et ceux qui y ont été confrontés ne sont pas près de l'oublier.

CrueSim VR permet de faire vivre le passage d'une crue sur un grand barrage grâce à une simulation réaliste en immersion complète.

L'apprenant doit identifier et appliquer la consigne de crue, tout en faisant face aux événements déclenchés en temps réel par le formateur

<https://numix.fr/crue-simulator-vr/>



CONCLUSION

VII. PROPOSITIONS D' ACTIONS

A l'analyse des résultats de cette enquête il apparaît opportun, sur l'arc méditerranéen, de promouvoir le recours à la réalité virtuelle et la réalité augmentée, appliquée à la prévention des inondations.

Les pistes d'actions suivantes peuvent ainsi être considérées comme pertinentes et prioritaires :

- Elaborer un outil test utilisant la réalité augmentée, sur site et visant la sensibilisation aux risques du grand public.
- Tester, puis promouvoir le recours aux outils de formation à la gestion des risques d'ores et déjà développés, notamment par le SECOAS, afin de rentabiliser les installations existantes, et de susciter la création de nouveaux centres de formations similaires, si les centres existant venaient à ne pas suffire.
- Appuyer les gestionnaires de risques en fournissant des éléments techniques et des notions de budgets concernant la réalisation d'outils de visualisation des inondations s'appuyant sur une reconstitution par effets spéciaux d'une crue, en VR, éventuellement 3D.

VIII. ACTION RETENUE POUR 2022

L'action retenue pour 2022 consisterait à fournir au passant, lorsqu'il est en zone inondable, sur certains secteurs préalablement identifiés, une visualisation de la hauteur d'eau en crue, directement au travers de son téléphone portable.

Le passant, interpellé par une affiche installée en zone inondable, se rend sur un site internet ou installe une application et obtient une information sur le risque inondation, dont le format reste à déterminer en fonction des budgets disponibles et coûts de mise en œuvre. Il pourrait s'agir :

- d'une simple hauteur d'eau : « là où vous vous trouvez, lors d'une crue centennale / décennale / historique, il y aurait 1,2m d'eau et un courant de 3 m/s »
- d'une visualisation de repères de crues virtuels, à travers l'appareil photo du smartphone.
- d'une visualisation, toujours à travers l'appareil photo du smartphone, de la hauteur d'eau sur les murs environnant
- voire d'une reconstitution par effets spéciaux de la crue à l'endroit où se trouve la personne. Notons qu'une fois entré sur l'application, le passant pourrait également avoir accès aux consignes de sécurité et ressources en lignes concernant les inondations.

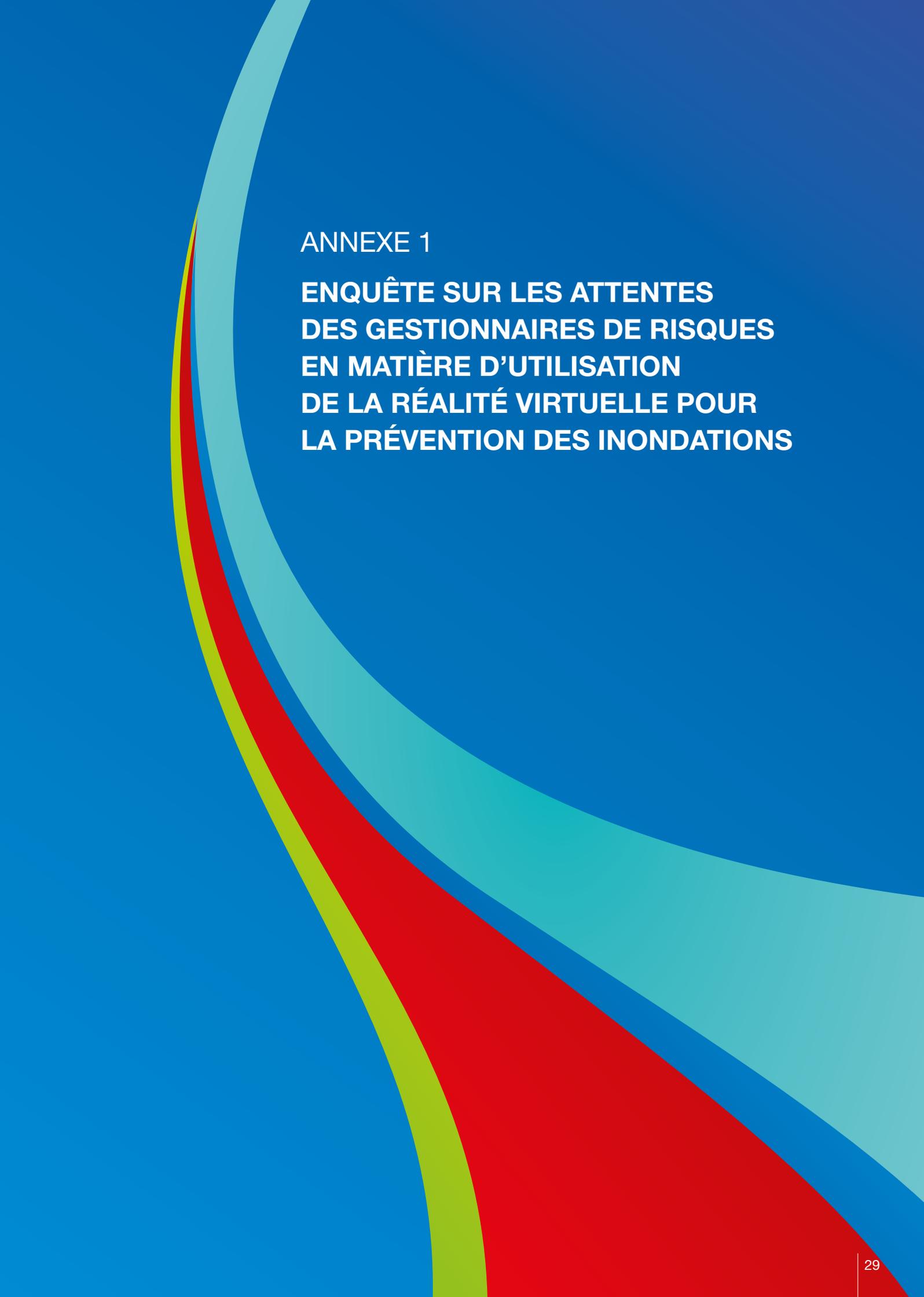
IX. APPUI AU CAHIER DES CHARGES

Les éléments techniques, méthodologiques et financiers d'appui au cahier des charges sont présentés en annexe 2.

X. ANNEXES

Annexe 1 : Questionnaire de recueil des attentes des gestionnaires de risques quant à la réalité virtuelle / augmentée pour la prévention des inondations.

Annexe 2 : Note technique d'appui aux gestionnaires de risques souhaitant faire réaliser un outil de sensibilisation des inondations s'appuyant sur la réalité mixte



ANNEXE 1

**ENQUÊTE SUR LES ATTENTES
DES GESTIONNAIRES DE RISQUES
EN MATIÈRE D'UTILISATION
DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE POUR
LA PRÉVENTION DES INONDATIONS**

Enquête sur les attentes des gestionnaires de risques en matière d'utilisation de la réalité virtuelle pour la prévention des inondations.

Durée approximative : 5 à 10 mn

***Obligatoire**

1. Adresse e-mail *

La Mission Interrégionale Inondation Arc Méditerranéen (MIIAM), lance une étude visant à évaluer la faisabilité et l'intérêt de l'utilisation de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée dans la prévention des inondations. Dans ce cadre, nous vous faisons parvenir la présente enquête, dont l'objectif principal est d'évaluer les attentes des gestionnaires de risque concernant ce sujet. Nous vous remercions par avance pour l'intérêt que vous porterez à cette action et pour les quelques minutes que vous y consacrerez !



2. Votre prénom (optionnel)

3. Votre nom (optionnel)

4. Structure, entité *

5. Poste occupé

6. Les termes Réalité Virtuelle (ci-après VR) et réalité augmentée (AR) vous sont-ils familiers (à titre d'exemple seriez vous capable de les définir) ? *

Une seule réponse possible.

Oui

Non

7. Considérons que la Réalité Virtuelle est une technologie permettant de plonger une personne dans un monde artificiel en 3 dimensions créé numériquement, et que la réalité augmentée est un moyen d'afficher sur le monde réel vu à travers un dispositif (smartphone, casque VR, lunettes de réalité augmentée) une couche d'informations additionnelles. Pensez vous que cette technologie soit utile à la gestion des inondations ? *

Une seule réponse possible.

oui

Non

8. Si oui, de quelles façons ?

9. Avez-vous déjà entendu parler d'initiatives de ce type (VR, AR) pour la prévention des risques (qu'il s'agisse de risque inondation ou d'autres risques) ? *

Une seule réponse possible.

oui

Non

10. Si oui, pourriez vous nous préciser celles qui ont retenu votre attention, en indiquant de préférence le nom du commanditaire et / ou du prestataire, afin que nous puissions les consulter ?

11. Selon vous, quelles idées pourraient être développées pour utiliser la réalité virtuelle et la réalité augmentée au service de la sensibilisation aux risques d'inondation, de la surveillance et prévision des inondations, de l'amélioration de l'alerte et de la gestion de crise, de la prise en compte des risques dans l'urbanisme, et de la réduction de la vulnérabilité ?

12. Parmi les idées que vous avez citées dans la question précédente, quelles sont celles qui vous paraissent prioritaires ?

13. Parmi les idées que vous avez citées dans la question précédente, quelles sont celles qui vous paraissent indispensables ?

14. Sur le ou les bassins versants sur lesquels vous travaillez, souhaiteriez vous mettre en œuvre l'un de ces dispositifs ?

Une seule réponse possible.

- oui
 Non

15. Si oui, avez vous déjà identifié ce dispositif ? A quelle échéance ?

16. Qu'attendriez vous de la MIAM dans le domaine de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée ?

Une seule réponse possible.

- partage d'expérience
 recommandations
 test de nouveaux outils
 mise à disposition de cahier des charges types
 valorisation des bonnes pratiques
 autre
 rien

17. Utilisez cet espace si vous souhaitez ajouter un commentaire, une idée, une suggestion ...

18. Si vous êtes d'accord pour que l'on vous recontacte à ce sujet, merci d'indiquer ici votre mail et/ou votre numéro de téléphone

Ce questionnaire est terminé, nous vous remercions sincèrement pour votre contribution. N'hésitez pas à nous contacter sur ce sujet au cours des prochains mois. Au printemps 2021, un rapport d'étude, s'appuyant entre autres sur vos réponses, sera publié par la MIIAM et vous sera transmis.

<http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/inondations-arc-mediterraneen-r2225.html>

ANNEXE 2

NOTE TECHNIQUE D'APPUI AUX GESTIONNAIRES DE RISQUES SOUHAITANT FAIRE RÉALISER UN OUTIL DE SENSIBILISATION DES INONDATIONS S'APPUYANT SUR LA RÉALITÉ MIXTE

SOMMAIRE

38	●	Contexte
38	●	Concept général
38	●	Définitions : réalité augmentée, réalité virtuelle, réalité mixte et opportunités pour cette outil
38	●	Objectif visé
39	●	Public visé
39	●	Application ou WebXR
39	●	Les grandes étapes de travail
39	●	Sélection des sites par le maitre d'ouvrage, accompagné du prestataire
39	●	Modélisation de la crue virtuelle (étape commune à la VR et l'AR)
39	●	Étape d'affectation de texture à la crue virtuelle
40	●	Étape de rendu réaliste « cinématographique » pour la réalité virtuelle
40	●	Détermination des marqueurs pour l'expérience AR
41	●	Programmation AR
41	●	Programmation Web
42	●	Installation des repères de crue physiques
42	●	Calage fin de l'outil AR
42	●	Risques et limitations
42	●	Estimation budgétaires

CONTEXTE

Dans le cadre de l'**étude de faisabilité pour appliquer la technologie VR (Réalité Virtuelle), via les outils grands publics « smartphones et lunettes VR », à la sensibilisation des citoyens sur un territoire inondable**, la Mission Interrégionale Inondation Arc Méditerranéen de la DREAL de zone sud a souhaité :

- que soient analysées les attentes des gestionnaires de risques en matière d'outils XR appliqués à la prévention des inondations,
- qu'une recherche soit faite sur les outils VR existant et les opportunités de développements futurs
- et que pour l'une des solutions prometteuses, soit rédigé un document technique permettant de guider les éventuels maîtres d'ouvrages dans la constitution de leur CCTP s'ils devaient faire réaliser un tel outil.

Ce document constitue l'appui au maître d'ouvrage pour la réalisation d'un outil de sensibilisation via l'observation sur site en réalité augmentée d'une crue historique ou potentielle, cette proposition ayant clairement suscité l'intérêt des gestionnaires de risques interrogés.

CONCEPT GÉNÉRAL

L'idée retenue concerne la sensibilisation aux inondations du grand public.

Il s'agit de proposer au passant se promenant aux abords d'un cours d'eau, en zone inondable, sur certains secteurs préalablement identifiés, une expérience de visualisation d'une crue de référence, en réalité virtuelle, augmentée, ou mixte, au travers de son smartphone.

Le passant, interpellé par une affiche installée en zone inondable, se rend sur un site internet en flashant un QR code intégré à l'affiche. Ce site internet demande à l'utilisateur l'autorisation d'utiliser la caméra et la centrale inertielle du téléphone, et affiche en réalité augmentée une surface d'eau animée représentant la crue.

Une fois entré sur la page internet, le passant peut également avoir accès à de nombreuses informations : consignes de sécurité et autres ressources en lignes concernant les inondations, positionnement des autres repères de crue et expériences de réalité mixte disponibles, lien vers les sites des partenaires...

DÉFINITIONS

RÉALITÉ AUGMENTÉE, RÉALITÉ VIRTUELLE, RÉALITÉ MIXTE ET OPPORTUNITÉS POUR CET OUTIL

Rappelons :

- que dans la réalité virtuelle (VR) : l'utilisateur est plongé dans un environnement numérique
- que dans la réalité augmentée, (AR), l'utilisateur visualise son environnement direct et réel, auquel sont ajoutés des informations numériques supplémentaires
- et que la réalité mixte, XR, est un terme qui désigne le continuum allant de la réalité à la réalité virtuelle en passant par la réalité augmentée.

Les premières étapes d'élaboration d'une solution AR et d'une solution VR sont communes (analyse de terrain, analyse SIG, conception 3D de l'environnement). Aussi, lorsqu'une solution AR est envisagée, une relativement faible augmentation du budget permet d'obtenir simultanément une visualisation VR sur les mêmes sites. L'outil final est dit « en réalité mixte » et présente les avantages suivants :

- permettre une expérience de visualisation de la crue aux **personnes ne se trouvant pas sur site** (par le biais d'un écran en 2D 360° ou à l'aide d'un casque de réalité virtuelle en 3D (stéréoscopique) 360° immersif,
- permettre aux utilisateurs de **smartphone peu puissants** pour lesquels l'expérience AR serait peu fluide, d'accéder à l'expérience VR sur site.

Notons d'autre part que l'expérience VR propose à priori un niveau de réalisme supérieur.

OBJECTIF VISÉ

L'objectif est de :

- susciter la curiosité par le biais d'un outil innovant,
- prolonger le temps de réflexion des passants sur les risques inondation,
- visualiser de façon concrète l'emprise de la crue,
- créer un « effet Waou » bénéfique à la mémorisation de la sensibilisation, et susciter des recommandations par bouche à oreille,
- offrir une visibilité aux partenaires, et des portes d'entrée vers plus d'informations de sensibilisation.

PUBLIC VISÉ

Il s'agit du grand public, et plus particulièrement les riverains et touristes parcourant la zone inondable. Du fait du caractère innovant et original de l'expérience proposée, un public non demandeur d'information sur la prévention des risques pourra être touché.

Il est probable toutefois que les plus anciens éprouvent quelques difficultés techniques limitant leur expérience et liées au maniement de base du smartphone.

L'expérience peut en outre être exploitée dans le cadre de visites scolaires ou professionnelles sur site.

APPLICATION OU WEBXR

La solution proposée repose sur la technologie WebXR, c'est à dire que l'utilisateur accède à la réalité augmentée par le biais d'un navigateur web (firefox Mozilla, Chrome, Explorer...) et non par le biais d'une application dédiée. L'accès à l'expérience est plus simple et rapide par ce biais, et l'on évite ainsi que le passant abandonne la démarche lorsqu'il s'aperçoit qu'il faut télécharger une application. Cette solution semble à privilégier dans le cadre de la prévention des risques, l'objectif étant de toucher des personnes à priori non demandeuses.

LES GRANDES ÉTAPES DE TRAVAIL

> SÉLECTION DES SITES PAR LE MAITRE D'OUVRAGE, ACCOMPAGNÉ DU PRESTATAIRE

Un site idéal pour accueillir une expérience en réalité augmentée présente les caractéristiques suivantes :

- Passage important de badauds provenant d'horizons différents, afin que l'expérience soit vécue par le plus grand nombre
- Peu de plans d'immersions distinct, et de mobilier urbain pour éviter un découpage trop complexe de la surface d'eau,
- Peu de végétation immergée par la crue, surtout dans les premiers plans, en effet la végétation évolue au fil de saisons et du vent, et peut rendre les limites de la crue virtuelle peu réaliste
- La présence de potentiels marqueurs de qualité pour la réalité augmentée (taille importante, points de contraste importants, surface plane, claire)

> MODÉLISATION DE LA CRUE VIRTUELLE (ÉTAPE COMMUNE À LA VR ET L'AR)

La mise en place d'une solution de visualisation des crues en réalité augmentée ou en réalité virtuelle présuppose sur chaque site considéré de mener à bien les étapes suivantes de création de la « crue virtuelle » c'est à dire l'objet 3D animé représentant la surface d'eau lors d'une crue :

- modélisation 3D du terrain en se basant sur des données cartographiques et topographiques et une visite de terrain,
- modélisation 3D des bâtiments, de la végétation (idéalement avec et sans feuillages) et du mobilier urbain,
- modélisation d'une surface d'eau en mouvement dont les cotes coïncident avec la ligne d'eau de la crue prise comme référence, et dont l'animation se rapproche au mieux d'une surface de crue

Notons que la surface d'eau en mouvement modélisée peut-être de plusieurs qualités :

- une surface simple sous forme de polygones comprenant « peu » de faces (dite low poly), et dont les sommets sont plus ou moins adoucis, qui fournira un rendu théorique et non réaliste,
- une surface plus travaillée, comprenant des ondulations de surface de différentes fréquences, en mouvement relatif les unes par rapport aux autres, pouvant aboutir à une représentation réaliste sur des écoulements laminaires, cette objet en mouvement ne prendra pas en compte les remous au droit d'obstacles, les éclaboussures et les mousses,
- une surface issue d'une modélisation de particules sur le modèle de terrain, prenant en compte le mobilier urbain, les obstacles, les éclaboussures et les mousses. Ce type de rendu est consommateur en temps et en ressource, et sera difficile d'appliquer à la réalité augmentée, qui exige un rendu en temps réel (voir plus loin).

A l'issue de cette étape on dispose d'un objet 3D représentant la crue (non texturé), ainsi qu'un modèle 3D de l'environnement (non texturé).

> ÉTAPE D'AFFECTATION DE TEXTURE À LA CRUE VIRTUELLE

Rappelons que pour obtenir une image réaliste d'un objet virtuel, on distingue plusieurs étapes :

- la conception de l'objet virtuel en 3D (l'objet 3D est en général composé de faces triangulaires),
- l'affectation d'une ou de plusieurs « textures » aux différentes faces de l'objet, ces textures décrivent les caractéristiques de l'objet, sa couleur de surface et de subsurface,

sa rugosité, sa réflectance, sa réfractance, son anisotropie .

- l'étape dite de « rendu » permet d'obtenir, du point de vue de la caméra virtuelle, la lumière que ces faces et leurs texture renvoie, en fonction des sources lumineuses présentes sur la scène.

Pour la réalité augmentée, l'étape de rendu se fait en temps réel et s'appuie sur le processeur du smartphone, et le programme de l'explorateur internet)

Le texturage dépendra donc de la solution retenue, les textures exploitées pour la réalité augmentée étant plus simples afin d'assurer un temps de calcul suffisamment court pour que l'expérience soit fluide sur tous les smartphones.

Pour une solution proposant à l'utilisateur aussi bien l'expérience VR que l'expérience AR, deux étapes de texturage sont nécessaires. Le texturage VR est réalisé sur logiciel d'effets spéciaux et de création 3D, le texturage pour l'AR est réalisé en code (exemple : aframe / three.js) directement exploitable par l'explorateur internet.

> ÉTAPE DE RENDU RÉALISTE « CINÉMATOGRAPHIQUE » POUR LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Si l'on souhaite un rendu très réaliste de cette surface d'eau dans l'expérience utilisateur, la puissance de calcul et les temps de calculs sont importants (l'objet virtuel comporte plus de faces, les textures et lumières émises sont plus complexes). Le rendu est réalisé en amont depuis un point de vue (caméra) déterminé, (2 caméras pour la stéréoscopie, œil droit et œil gauche).

Les étapes correspondantes sont :

- la réalisation des prises de vues sur site à l'aide d'une caméra 360 ° (et stéréoscopique si l'on souhaite une vision en 3 dimensions). Ces prises de vues sont idéalement réalisées à différentes heures de la journée/nuit et sous des conditions de couverture nuageuse différentes.
- La projection sur la modélisation 3D des images ainsi filmées
- Le calcul du rendu, image par image (25 images par secondes), de la crue virtuelle prenant en compte les reflets et ombres des différents bâtiments,
- Le compositing permettant d'intégrer la crue virtuelle dans l'environnement filmé, de gérer les limites, transitions, d'ajouter certains effets (luminosité, pluie, reflets, retrait d'objets, contours...)

A l'issue de cette étape, on dispose d'un objet 3D animé au rendu réaliste depuis un point de vue fixe.

> DÉTERMINATION DES MARQUEURS POUR L'EXPÉRIENCE AR

Sur site se trouve un repère de crue (simple macaron ou panneau aux dimensions et contenu plus développé) faisant figurer un flashcode. Lorsque l'on flash ce code, on aboutit à une page web qui demande à l'utilisateur d'autoriser l'accès à la caméra du smartphone.

Intervient alors l'étape permettant au site web de connaître le positionnement et l'orientation du téléphone par rapport au modèle numérique de crue. L'analyse du flux vidéo provenant de la caméra du smartphone permet d'identifier la taille, l'orientation et le positionnement de marqueurs. Ces marqueurs sont des objets existant à la fois dans le modèle numérique et sur le terrain réel. Ils sont identifiés lors de la conception de l'outil et enregistrés dans le code de la page internet. Deux types de marqueurs pourraient être adaptés à cet outil AR :

- Le marqueur spécifique installé artificiellement sur le terrain, par exemple à proximité du repère de crue à moins que le repère de crue lui-même soit le marqueur, ou que le flashcode permettant d'accéder à l'expérience soit le marqueur. C'est une solution simple mais qui présente deux défis :

- la précision du positionnement de la crue virtuelle (l'objet virtuel étant de dimensions largement supérieure à celle du marqueur, et le marqueur n'étant pas positionné à proximité de l'objet virtuel, il pourrait s'avérer que le calage de l'objet sur la scène soit incertain ou fluctuant
- la présence du marqueur dans l'angle de vision : suivant le positionnement du repère de crue, l'utilisateur pourrait devoir effectuer une rotation importante entre le marqueur et la scène à observer, engendrant ici aussi une possible perte de précision dans le calage (suivant la qualité de la centrale inertielle du téléphone portable)

- le marqueur NFT (Natural Feature Track). Il s'agit d'un objet réel présent sur site (pont, maison, mobilier urbain...). Il présente l'avantage d'être de grande taille et peut être choisi dans la direction principale de l'expérience, assurant ainsi un calage plus précis de l'objet virtuel, mais suivant sa complexité il peut exiger des ressources de calcul plus importantes (engendrant une perte de fluidité de l'expérience, surtout lorsque le smartphone est en mouvement)

NB : la centrale inertielle du téléphone contient un accéléromètre (qui à l'état de repos donne la verticale), un magnétomètre (qui donne le nord en l'absence de perturbation magnétique), et un gyroscope qui fournit les vitesses de rotation de l'appareil selon 3 axes). C'est l'intégration de toutes ces données qui permet au téléphone de transmettre au programme ses propres mouvements.

Une fois que le calage est effectué, la crue virtuelle peut apparaître en « fondu enchaîné » durant une trentaine de secondes avant de disparaître. Une option est fournie à l'utilisateur de voir de nouveau cette crue, de sortir de l'application, ou de voir une autre crue.

> PROGRAMMATION AR

L'étape de programmation AR voit la création du code principal et des scripts et ressources secondaires permettant à l'explorateur de mener à bien l'expérience de réalité augmentée.

Le langage AR.js peut être exploité pour la définition et la gestion des marqueurs, et le calage du modèle numérique dans la réalité filmée.

L'affichage, le texturage et le rendu de l'objet virtuel peut être gérée par A-frame, un framework appliqué à la réalité mixte, s'appuyant principalement sur la bibliothèque javascript three.js,

Les solutions présentées ici sont opensource, évolutives et gratuites, mais d'autres solutions payantes ou propriétaires existent.

Les défis liés à la programmation AR sont l'obtention d'une page de code finale très légère, (de l'ordre de 5Mo) afin d'assurer un temps de chargement rapide et de ne pas perdre de visiteurs en raison du délai de chargement. En gardant cette limitation en tête, l'étape de programmation 3D vise à optimiser l'objet 3D et son texturage afin d'obtenir un résultat le plus réaliste possible. Il s'agit ici d'un travail de recherche et développement alliant des compétences informatiques, artistiques, hydrauliques et VFX.

Une option haute définition (pour un poids de téléchargement de 50Mo) pourra être proposé à l'attention des détenteurs de smartphones modernes dont les processeurs permettent de manier ce type d'objet de façon fluide, et dans des secteurs bien couverts par la 4G ou la 5G afin que le temps de téléchargement ne soit pas rédibitoire.

> PROGRAMMATION WEB

Il s'agit de l'étape de définition de l'ergonomie, d'intégration du contenu, de design graphique et de mise en ligne de la page. Les étapes suivantes sont communément retenues pour ce type de prestation (entre parenthèses figurent les compétences associées) :

- UI / UX design : Définition concertée de l'expérience utilisateur, des menus, sous menus, boutons d'action et liens, (directeur artistique et designer)
- Définition de la charte graphique, design des éléments graphiques et maquette (designer)

- Création Wireframe de la page principale et validation du comité de pilotage, (programmeur expert)
- Déclinaison graphique sur les pages secondaires, (programmeur)
- Intégration des lecteurs VR, et de la programmation AR, (programmeur expert),
- Réception du contenu fourni par le maître d'ouvrage (médiats, liens vers les sites partenaires, textes, images, vidéos, logos...), et mise en forme de ceux ci au sein des différentes pages (programmeur),
- Mise en place d'un sous domaine sur le serveur du maître d'ouvrage, ou achat d'un domaine dédié (programmeur)
- Téléchargement des médias et de ma programmation sur le domaine, et création de la page web (programmeur)
- Tests et validation par le comité de pilotage (programmeur expert),
- Gestion SEO / référencement (SEO)
- Lancement officiel du site, promotion (communicant)

La programmation se fait communément en PHP, HTML et CSS.

Une première analyse permet de proposer l'architecture suivante pour le site internet :

- Page d'accueil : un logo de type Repère de crue avec la notion de réalité mixte et une phrase indiquant que pour mener à bien l'expérience AR, l'utilisateur va devoir accepter l'accès à la caméra et aux données VR (centrale inertielle). La programmation permettra le chargement simultané de l'expérience AR afin de gagner en réactivité. Notons que le message de validation de l'accès à la caméra et aux données de la centrale inertielle est géré par le système d'exploitation de chaque smartphone.
- Page réalité augmentée : on y accède directement s'il y a validation de l'accès caméra / capteurs. L'arrière plan est constituée par le flux vidéo issue de la caméra du smartphone, sur lequel se trouvent des boutons :
 - en haut :
 - › AR (lancement de l'expérience AR)
 - › VR, accès à la page VR décrite ci-dessous comportant un visualisateur VR et un choix d'expériences VR à sélectionner par un simple clic
 - › Cartographie (pour retrouver le positionnement des autres repres de crue sur une carte)
 - à droite :
 - › en savoir plus : accès aux médias d'information, de sensibilisation, consignes, réduction de la vulnérabilité, cartographies...
 - › partenaires : accès aux sites des partenaires

- à gauche :
 - > Q hist (visualisation d'une crue historique)
 - > Q100 (visualisation de la crue centennale)
- en bas :
 - > éventuels messages d'information sur l'utilisation (mouvements lents, pointer vers le marqueur, possibilité de tourner, appuyer sur la croix pour sortir...)
 - > mentions légales (comportant une phrase de limitation de la responsabilité du maître d'ouvrage, type « illustration non contractuelle »)

Des sous menus peuvent exister pour la page partenaires et la page médias accessible depuis la droite de l'écran.

L'organisation décrite ici est indicative et pourra être repensée lors de la conception de l'expérience utilisateur (UI/UX design).

> INSTALLATION DES REPÈRES DE CRUE PHYSIQUES

Ceux-ci intègrent un flashcode permettant l'accès à la page web, ainsi qu'un élément graphique ou/et une mention écrite permettant d'attirer le badaud vers l'expérience AR/ VR.

Le détail de cette prestation (création du contenu, design en fonction des sites, prototypes, installation, autorisations...) n'est pas abordé ici.

> CALAGE FIN DE L'OUTIL AR

Si le marqueur utilisé pour l'expérience AR est intégré au repère de crue physique, un calage fin du positionnement de la crue virtuelle par rapport au repère de crue installé doit être réalisé afin de s'assurer de la cohérence.

RISQUES ET LIMITATIONS

Comme tout projet comportant une composante de recherche et développement en programmation, certains risques sont à prendre en considération par le maître d'ouvrage. La liste ci-dessous n'est pas exhaustive :

- la technologie WebXR réalisée sur a-frame n'est pas encore supportée sur tous les navigateurs. A priori, Chrome, Mozilla Edge et Samsung Internet fonctionnent mais Safari, le navigateur Apple intégré aux Iphones n'a pas souhaité permettre l'utilisation de ce langage. Une page webXR spécialement conçue sur apple et utilisant Arkit à la place de A-frame doit être construite pour permettre aux utilisateurs d'Iphones d'accéder au site. Notons que cet situa-

tion peut évoluer suivant les politiques de Safari. Le lecteur vidéos VR 360 fonctionne pour sa part sur Safari et l'utilisateur d'Iphone pourra donc accéder à cette expérience.

- le site demandera l'autorisation d'accéder à la caméra ou aux données vr (formulation non définitive) certains utilisateurs pourraient ne pas souhaiter donner l'utilisation. Un contenu 2D devrait alors être proposé. (les vidéo VR 360 idéalement, et tous autres contenus didactiques)
- Il est possible que l'expérience requiert la mise à jour du navigateur ou l'installation d'un module (type GoogleVR ou ARkit).
- de bonnes conditions de lumière sont nécessaires pour l'identification des marqueurs. l'expérience pourrait ne pas être concluante de nuit ou par très forte couverture nuageuse.
- La qualité du résultat dépend aussi de la précision des informations de localisation et d'orientation du téléphone portable transmises par ce dernier, et cette précision est très variable en fonction du téléphone utilisé.
- Les déplacements verticaux et horizontaux devront être limités dans l'espace, et réalisés de façon progressive et lente,

ESTIMATION BUDGÉTAIRES

Ci-dessous figurent des montants indicatifs pour les différentes phases de projet (et le délai commun de travail correspondant entre parenthèses) :

- Création 3D VR et AR : 20 à 30 000 € HT (6 mois)
- Programmation AR et web : 15 à 25 000 € HT (3 mois)
- Création des repères physiques non chiffré

Gestion de projet et incertitudes : 10 à 15 % supplémentaires.



Date de publication : octobre 2021

Réalisation :

Pierre SCHOLL, Risques Naturels et Communication

Maître d'ouvrage et participant à l'étude :

Ghislaine VERRHIEST-LEBLANC

Mission Interrégionale Inondation Arc Méditerranéen
DREAL de zone de défense et de sécurité Sud

Contributeurs :

SDIS 04 et 05, EV2R, Université de Caen (LETG et CIREVE), CSTB,
Immersion Tools, Entente Valabre, PixArchi, Octarina, Predict Services

Relecteurs :

Sylvie GRECIET - DGPR

Marie-Françoise BAZERQUE - DREAL de zone de défense et de sécurité sud

Mise en page :

Valérie SCOTTO DI CESARE - www.vsdcom.fr