

PROPOSITION D'APPROCHE GLOBALE POUR LA DEFINITION DE LA CINETIQUE DES EVENEMENTS REDOUTES CENTRAUX

Velocity characterization of feared incidents: a global approach method

Florence RENIER, Thomas VIARD, Frédéric LAUGIER

EDF Centre d'Ingénierie Hydraulique, 4 Allée du Lac de Tignes 73290 La Motte Servolex

florence.renier@edf.fr, thomas.viard@edf.fr, frederic.laugier@edf.fr

MOTS CLEFS

Cinétique, évènement redouté central, temps de réaction, temps de propagation, alerte, réaction de l'exploitant.

KEY WORDS

Kinetic, central feared event, reaction time, propagation time, alert, operator reaction.

RÉSUMÉ

En application de l'Arrêté définissant le plan de l'Etude de Dangers (AEDD), la cinétique de chaque événement redouté central (ERC,) retenu dans l'EDD et traduit par un nœud papillon, est précisée dans les Etudes de Dangers (EDD). Néanmoins, les textes ne fixent pas de critères ou de méthode pour caractériser ces cinétiques. Le présent article présente une description de la méthodologie retenue par EDF-CIH, illustrée par des exemples d'ERC présentant des cinétiques qualifiées de lentes ou rapides.

La méthodologie retenue à ce jour par EDF-CIH propose une définition de la rapidité des ERC au regard des conséquences aval atteintes. En d'autres termes il s'agit de répondre à la question suivante : serait-il possible d'agir lorsque la survenue de l'ERC est proche (déclenchement des événements initiateurs – EI) pour en limiter les conséquences ?

Le présent article s'intéresse donc aux notions d'alerte et d'évacuation des populations et à la façon dont peuvent être utilisées ces notions pour définir la rapidité d'un ERC. Il présente une analyse de la bibliographie permettant d'estimer des temps d'alerte et de mise en sécurité des personnes exposées selon le principe suivant : pour qu'une alerte soit considérée comme efficace, il faut qu'une majorité des personnes exposées en cas de survenue d'un ERC puisse être évacuée à temps.

La synthèse qui est faite de ces études aboutit à une définition prudente des temps de référence, pour les différentes classes de personnes exposées. Ces temps de référence sont, dans chaque EDD, à mettre en rapport avec une analyse fine des scénarios de survenue probable des ERC, en fonction notamment des signes annonciateurs, des réactions probables de l'exploitant et des modes de rupture en jeux.

ABSTRACT

The French regulation asks for a kinetic definition of each central feared event. However, the texts do not set criteria or methods to characterize this kinetic. This article presents a description of the methodology used by EDF, illustrated by examples of feared events, which kinetics are classified as slow or fast by EDF.

The methodology currently used by EDF proposes a velocity definition relevant to the downstream consequences. It can be summed up as answering the following question: would it be possible to act (to protect people) when the incident is close to happening?

This article deals with the notions of alert and population evacuation. It suggests how these notions can be used to define the kinetic of a feared event. It offers a bibliography analysis to assess alert and safety realistic duration

times for exposed people evacuation. Obviously, an alert is considered effective if most exposed people can be evacuated in time.

These studies define cautious reference durations, for each exposed people range. These reference durations are, in each safety study, to be linked to a specific analysis of the probable occurrence scenarios of the feared events. Depending on warning signs, probable operator's responses and failure modes involved.

1. CONTEXTE

En application du corpus réglementaire en vigueur, notamment l'arrêté du 3 septembre 2018 [1], la cinétique de chaque événement redouté central (ERC) doit être précisée dans les Etudes de Dangers (EDD). Néanmoins les textes n'imposent pas de critères ou de méthode pour caractériser ces cinétiques.

En complément des méthodologies relatives à l'estimation des conséquences aval, il convient donc, pour les organismes agréés, de se doter de méthodes cohérentes pour caractériser la cinétique de ces ERC.

Le présent article présente une description de la méthodologie retenue par EDF-CIH, illustrée par des exemples. Dans un premier temps (partie 2), une étude bibliographique est réalisée afin d'estimer des temps d'alerte et de mise en sécurité des personnes exposées. Dans un second temps (partie 3), cette analyse est appliquée à la description de la cinétique des ERC faite dans les EDD.

Postulat :

Le choix a été fait de définir la rapidité des ERC au regard des conséquences aval atteintes. Il s'agit donc pour chaque ERC d'éclaircir le questionnement suivant : serait-il possible d'agir lorsque la survenue de l'ERC est proche (déclenchement des événements initiateurs – EI) pour en limiter les conséquences ?

Cette réflexion est alimentée par les études menées par l'INERIS [2]. Notamment, il y est considéré que la gravité de 10N personnes exposées par un phénomène à cinétique lente est de gravité équivalente à N personnes exposées par un phénomène à cinétique rapide.

2. ALERTE ET EVACUATION DES POPULATIONS

2.2. 2.1. Principes

La notion d'évacuation de population a été réfléchi de manière approfondie par les services de l'Etat, notamment dans le cadre des plans ORSEC. Le présent paragraphe s'appuie beaucoup sur le guide du CEPRI (Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation) « L'évacuation massive des populations – Les territoires face à l'inondation » [3] pour les différentes notions utilisées.

Pour qu'une alerte soit considérée comme efficace, il faut qu'une majorité des personnes exposées puisse être évacuée à temps en cas de survenue d'un ERC. Le déroulement d'une évacuation peut être décomposé en quatre phases :

- La mobilisation des autorités (cellule de crise),
- L'alerte aux populations,
- La mobilisation des populations,
- La mise en sécurité des populations.

La suite de l'article précise ces étapes et y associe des notions temporelles. Il est important de noter que les temps associés à chaque étape peuvent varier considérablement en fonction du mode de défaillance engendrant l'ERC (crue, séisme, etc.).

2.3. Notions temporelles à considérer

1. Mobilisation des autorités

Le temps de mobilisation des autorités correspond au temps nécessaire pour qu'elles soient prévenues, que ces autorités (préfecture, police, gendarmerie, pompiers, associations, etc.) se réunissent, évaluent le danger et décident de lancer l'alerte aux populations. Ce temps peut être relativement long. En effet, les autorités ne demandent pas une évacuation si le risque n'est pas hautement probable, voire avéré. Cette réserve ne s'explique pas uniquement par l'ampleur des moyens à mettre œuvre mais potentiellement également par la

volonté de ne pas accoutumer les populations à des alertes « inutiles »¹. Le temps de décision peut donc être long.

Cette étape pourrait donc prendre quelques heures² si l'ERC n'est pas encore survenu. En revanche, on peut penser qu'elle serait quasiment immédiate si l'ERC est déjà survenu.

Il est à noter que dans le cadre des Plans Particulier d'Intervention (PPI), si le risque de rupture provient d'une alerte « crue avec complications », un état de « vigilance renforcée » est mis en place par l'exploitant, dans un premier temps, plusieurs heures avant l'atteinte de la cote de crête alors que l'état de « préoccupations sérieuses » est mis en place dans un second temps (tout cela bien en amont des états de péril imminent puis de rupture). Quelques heures s'écoulent entre ces deux états. La mobilisation des autorités pourrait donc se faire dans l'intervalle entre l'état de vigilance renforcée et l'état de préoccupations sérieuses prévus dans le cadre des PPI.

2. Temps d'alerte des populations

Une fois la décision prise par les autorités d'évacuer les populations, il faut les alerter et les informer de la conduite à tenir. A cet effet, différents moyens existent, notamment ceux identifiés dans le guide ORSEC – Alerte et information des populations [4].

Les systèmes d'alerte et d'information aux populations sont nombreux et peuvent toucher différentes parties de la population. Leur efficacité sera variable en fonction du jour et de l'heure. En effet, la nuit par exemple, l'efficacité des radios et télévisions sera moindre. Le temps d'alerte sera en général beaucoup plus long la nuit que le jour. Certaines populations pourront être également beaucoup plus difficiles à alerter, notamment les personnes mobiles (fréquentant le lit de la rivière) situées dans une zone reculée où les sirènes ne sont pas forcément audibles et où les téléphones portables passent mal. Les pratiquants du canyoning seront par exemple une population très difficile à alerter.

Le logiciel HEC-FIA de l'US-Army Corps of Engineers (USACE) propose différentes courbes de propagation de l'alerte en fonction du moyen d'alerte utilisé. Pour un barrage soumis à PPI, la courbe de propagation de l'alerte par utilisation de sirènes peut être retenue. Pour les barrages non soumis à PPI, en première approche, la même courbe avec des temps majorés de 50 % (personnes mobiles) peut être retenue.

Nota : selon Le code de la sécurité intérieure (R741-33 et R741-18) les aménagements hydrauliques soumis à PPI sont ceux qui comportent à la fois un réservoir d'une capacité égale ou supérieure à quinze millions de mètres cubes et un barrage ou une digue d'une hauteur d'au moins vingt mètres au-dessus du point le plus bas du sol naturel.

¹ Aux Pays-Bas, face à la menace de rupture de digues générée par la crue du Rhin en janvier 1995, 240 000 habitants de la région de Nimègue évacuèrent tandis que 5 % de la population concernée refusèrent d'évacuer. Les digues ne rompirent cependant pas et l'évacuation apparut donc injustifiée a posteriori pour une partie de la population. Une étude menée par la suite auprès des habitants a montré que cette alerte perçue comme non justifiée pourrait avoir un impact significatif sur le taux futur de refus d'évacuation, qui pourrait passer de 5 à 20 % lors de la prochaine alerte. (*Crisis Onderzoek Team in Frieser, 2004.*)

² Les Services d'urgence de l'État de la Nouvelle-Galles du Sud (New South Wales State Emergency Service [NSW-SES]), en Australie, estiment que la phase de décision/organisation de l'évacuation/mobilisation des moyens pourrait durer entre 3 heures minimum et 6 heures maximum (NSW-SES, 2010.) Au Pays-Bas, en janvier 1995, les différentes autorités concernées ont mis environ 4 heures pour décider de l'évacuation des 250 000 habitants menacés par la crue du Rhin, dans la région de Nimègue. (*Frieser, 2004.*)

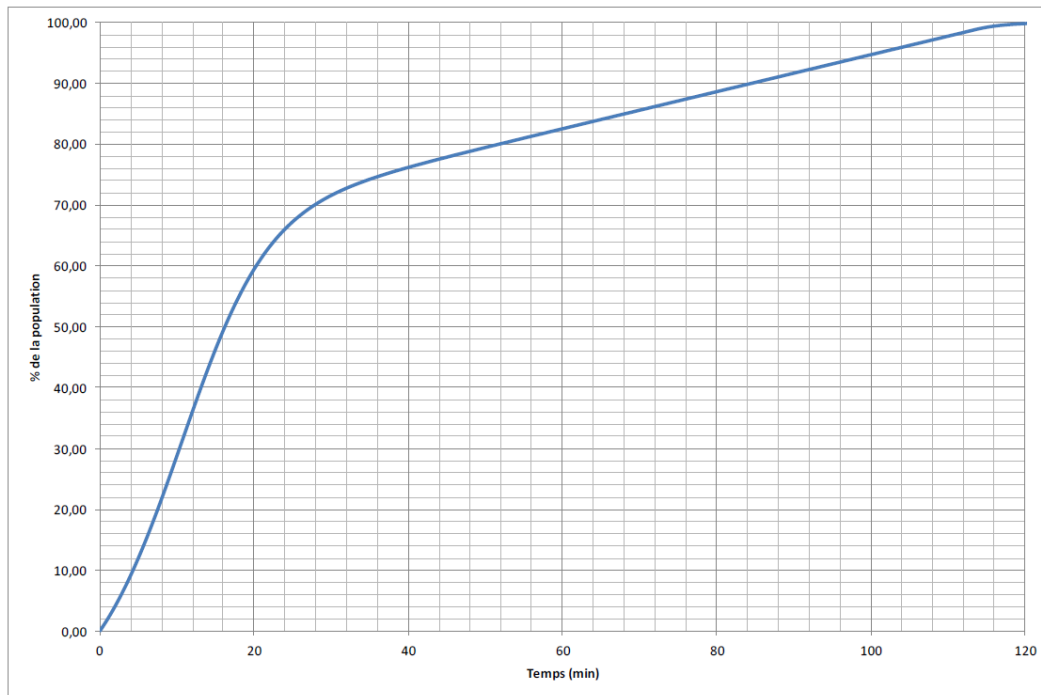


Figure 1 : Propagation d'une alerte : efficacité temporelle d'atteinte des populations par alerte type « sirène » - source HEC-FIA (USACE)

A titre d'illustration, nous proposons deux exemples fictifs :

- Un barrage soumis à PPI avec plus de 10 000 personnes exposées en aval à son onde de submersion,
- Un barrage mobile en rivière sur un cours d'eau très fréquenté en période estivale avec plusieurs centaines de personnes mobiles.

D'après le graphique de la Figure 1, un temps de l'ordre de 2h pour un barrage soumis à PPI et 3h pour un barrage non soumis à PPI serait nécessaire pour prévenir toute la population à évacuer. Toutefois, en moitié moins de temps, une part déjà très significative (plus de 80 %) serait alertée.

La méthodologie opérationnelle proposée au chapitre 3 a été établie à partir de l'analyse détaillée de cas tests comme ceux-ci, qui ont permis de bâtir une approche simplifiée.

3. Temps de mobilisation des populations

Contrairement aux idées reçues, lorsque qu'une personne est alertée pour une évacuation due à un danger imminent, la première réaction n'est pas la panique mais l'absence de réaction. En effet, dans la majorité des cas, les personnes nient la réalité de l'annonce, un temps d'acceptation est nécessaire. Ensuite, les personnes ont tendance à rester chez eux pour mettre en sécurité leurs biens³. Le temps de mobilisation dépend donc en grande partie de la nature des consignes (départ immédiat ou délai disponible pour mettre à l'abri ses biens), de la dispersion éventuelle des familles (jour ouvré), ainsi que de la culture du risque des habitants.

Par défaut, pour un ERC exposant une forte proportion de personnes sédentaires (dans un bâtiment), la courbe de mobilisation d'une population sédentaire ou mobile représentative d'une zone urbaine occidentale soumise au risque inondation fournie par le logiciel HEC-FIA a été retenue par EDF-CIH. Pour un ERC exposant majoritairement des personnes mobiles, en première approche, la même courbe avec des temps minorés de 50 % a été retenue. En effet, contrairement au temps d'alerte, le temps de mobilisation d'une personne mobile devrait être plus rapide que pour une personne sédentaire. Elle n'est pas à son domicile ou à son lieu de travail et n'a pas de questions à se poser sur la mise en sécurité de certaines affaires. De plus, il n'est pas exclu que les personnes mobiles situées en bord d'eau voient les premiers signes de montée du niveau d'eau et se mobilisent avant d'avoir reçu l'alerte des autorités.

³ Par exemple, des cas de personnes décédées lors d'inondations car elles sont descendues dans leur garage pour évacuer leurs voitures ont déjà été recensés.

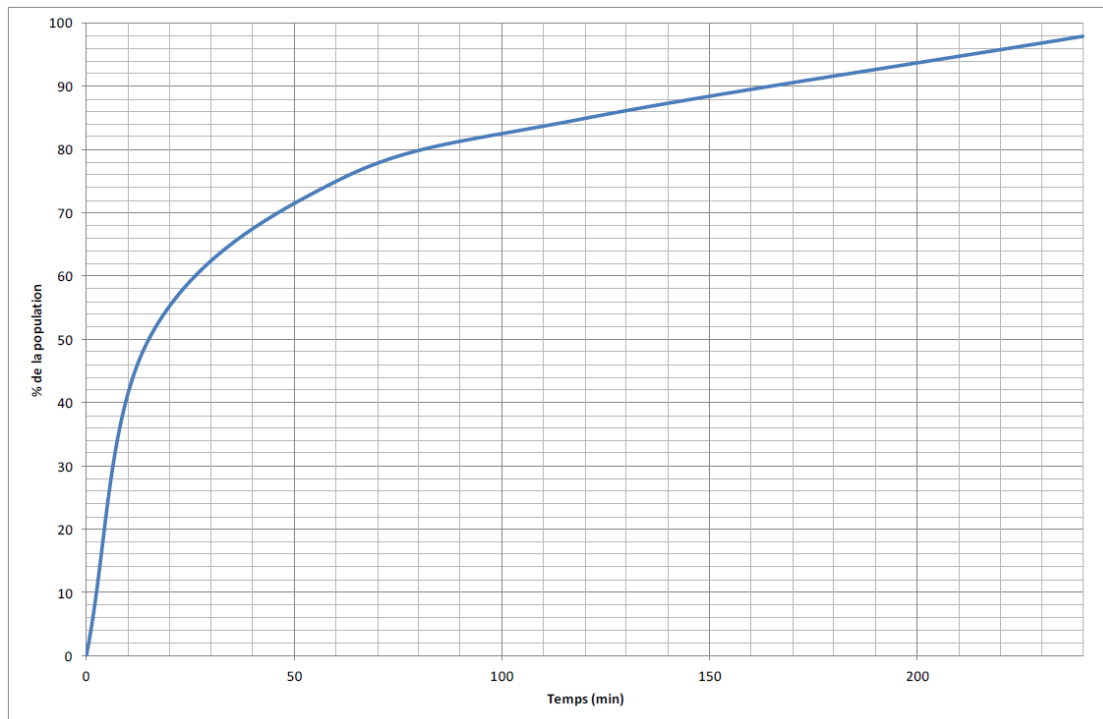


Figure 2 : Temps/efficacité de mobilisation des populations - source HEC-FIA (USACE)

Une durée de l'ordre de 4h serait ainsi nécessaire à la mobilisation de toute la population sédentaire à évacuer (2h pour les personnes mobiles), mais environ 75 % de la population sédentaire serait mobilisée en 1h (30 minutes pour les personnes mobiles). Ces courbes semblent cohérentes avec les informations de la littérature qui donnent des temps variables allant de 2 à 6h, pouvant être réduits dans certains cas (préparation, danger imminent).

4. Temps d'évacuation des populations

Une fois les populations mobilisées, pour les mettre en sécurité, deux types d'évacuations sont possibles :

- L'évacuation horizontale : évacuation des personnes hors de la zone inondée.
- L'évacuation verticale : évacuation des personnes vers les étages supérieurs de leur habitation ou vers les étages de bâtiments refuges prévus à cet effet.

L'évacuation horizontale est la plus fiable (pas de risque de tenue du bâtiment, ni de problème d'approvisionnement en cas d'évacuation longue) mais nécessite beaucoup plus de temps pour être mise en œuvre, créant un risque pour les personnes encore en cours d'évacuation à l'arrivée de l'onde de submersion. Les personnes situées en extérieur et dans leur véhicule sont les plus exposées au risque.

L'évacuation verticale a le mérite d'être beaucoup plus rapide, mais face à certains ERC comme une rupture de barrage, la question de la tenue du bâti doit se poser. En effet, en France, pas ou peu de bâtiments ont été construits dans le but de servir de refuge en cas d'inondation, notamment due à une rupture de barrage. Ce type d'évacuation devrait logiquement être privilégié seulement si le temps disponible ne permet pas une évacuation horizontale.

Le temps nécessaire pour une évacuation verticale pourrait être considéré comme quasi nul (quelques minutes), pour la population associée à du bâti à plusieurs étages et pourrait être estimé à un quart d'heure pour les personnes associées à du bâti de plein pied, devant rejoindre un édifice refuge.

Le temps nécessaire à une évacuation horizontale est plus difficile à évaluer. Il dépend du nombre de personnes à évacuer et des axes routiers disponibles, des moyens de transports en commun disponibles et bien évidemment de la distance à parcourir. Il est à noter que la proportion de population sensible peut aussi faire varier le temps d'évacuation (personnes âgées, résidents des hôpitaux, des établissements pénitenciers, personnes sans voiture, etc.).

La Nouvelle Zélande propose ainsi la méthode suivante d'évaluation : comptabilisation des routes disponibles, évaluation de leur capacité d'évacuation (1200 véhicules/h pour une autoroute, 1000 pour une route rurale et 500 pour une route urbaine), calcul du temps en fonction du nombre de véhicules à évacuer, puis ajout d'une heure au temps estimé pour une durée d'évacuation de moins de 3 heures, puis de 30 minutes supplémentaires par tranche de 3 heures de durée d'évacuation supplémentaire pour prendre en compte les difficultés (accidents, etc.). Un taux d'occupation forfaitaire peut être alors appliqué, par véhicule, en fonction de la taille moyenne d'un foyer.

Aux Pays-Bas, en 2005, 240 000 personnes ont été évacuées en 36 h.

Des études réalisées par le CEREMA laissent à penser que la ville de Grenoble (450 000 habitants) ne pourrait pas être évacuée en moins de 24 h⁴.

En 2009-2010, en Allemagne et en Suisse, des évacuations ont eu lieu pour désamorcer d'anciennes bombes [3]. Néanmoins, la source bibliographique n'indique pas si ces évacuations ont été préparées ou faites dans l'urgence. N'ayant pas trouvé d'autres éléments de comparaison, en première approche, ces temps ont été utilisés comme source d'inspiration. Le graphique ci-après fournit une idée des temps d'évacuation :

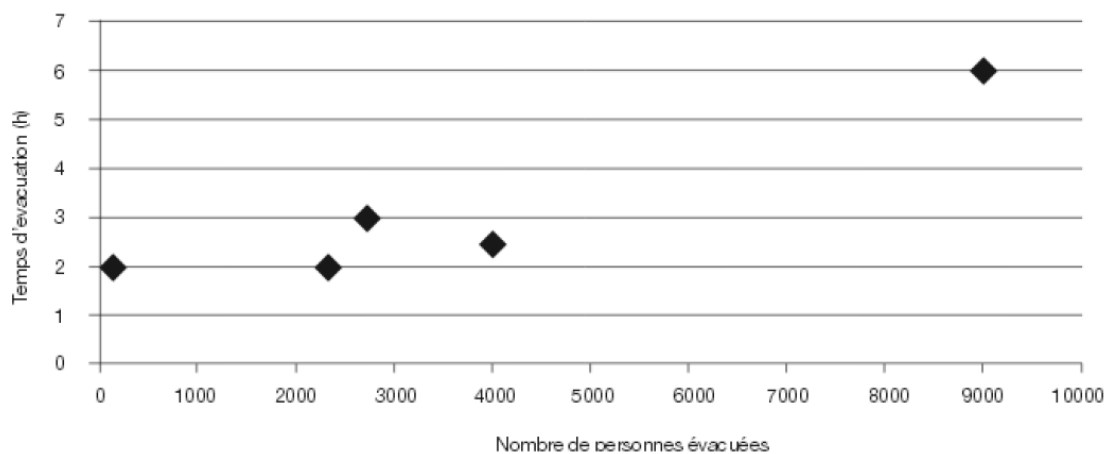


Figure 3 : REX de temps d'évacuation pour désamorçage de bombes (Suisse, Allemagne) - source [3]

Il est difficile d'établir une courbe temporelle d'évacuation horizontale précise. Il est donc proposé une estimation en deux étapes :

- Un temps total d'évacuation de la population est calculé en fonction du nombre de personnes exposées (évaluation de Tmax),
- Puis une courbe de répartition de l'évacuation entre l'instant de la mobilisation et ce temps global est construite à partir des données ci-dessus (progression de l'évacuation entre T0 et Tmax).

⁴ Une modélisation de l'évacuation massive de population à Grenoble suite à rupture du barrage de Monteynard a été réalisée par le CEREMA entre 2007 et 2012. Elle est évoquée sur le site du CEREMA et dans des présentations PowerPoint disponibles sur internet, mais les auteurs de cet article n'ont pas eu l'étude elle-même en visibilité.

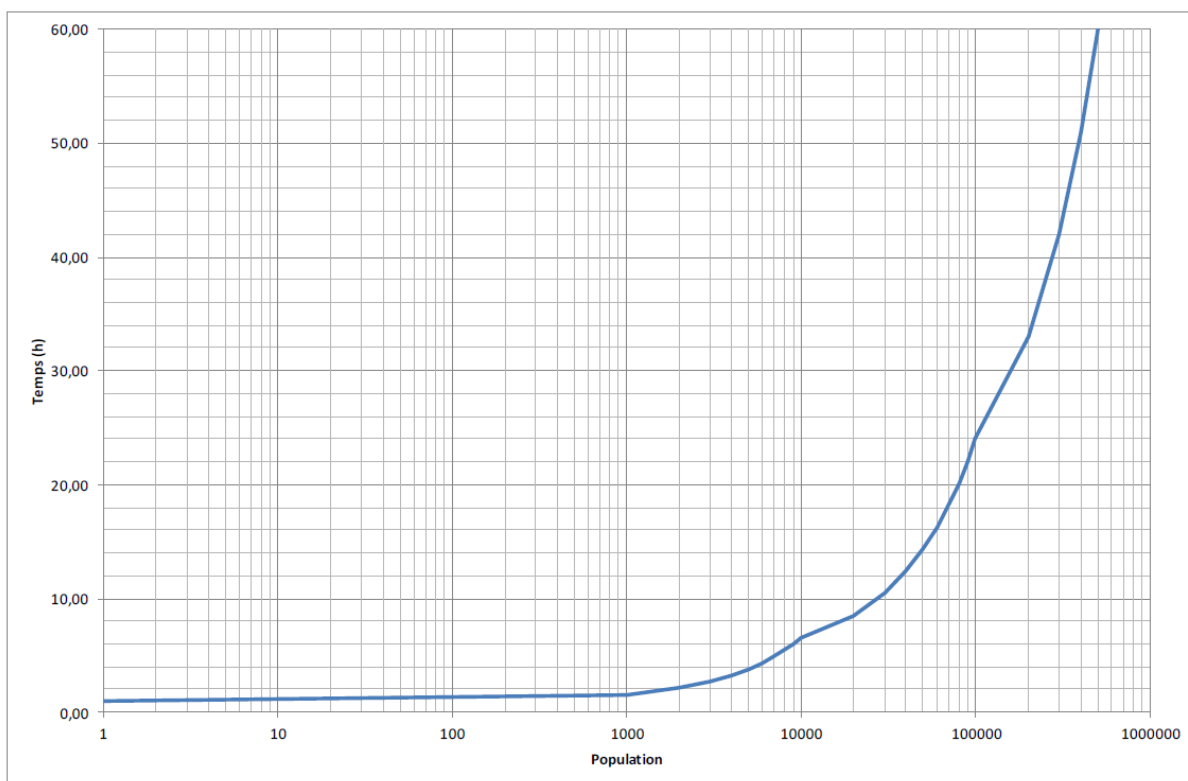


Figure 4 : Temps global nécessaire pour une évacuation horizontale d'une population une fois celle-ci mobilisée

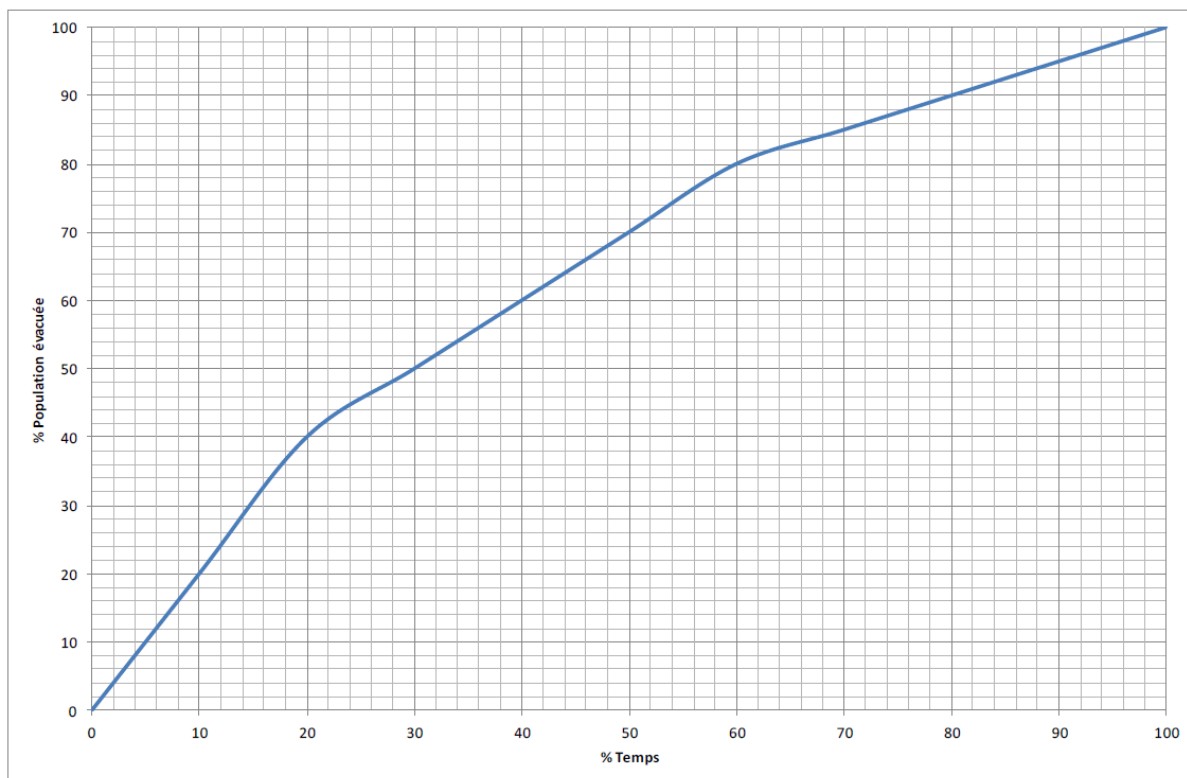


Figure 5 : Pourcentage de la population évacuée horizontalement en fonction du pourcentage du temps global nécessaire écoulé

Nota : les courbes ci-dessus sont des estimations et extrapolations réalisées à partir des informations disponibles dans le Guide d'évacuation massive de population évoqué plus haut [3].

2.4. Synthèse et exemples d'application

A partir de ces quatre étapes, une courbe de temps global de mise en sécurité peut être établie au cas par cas.

Prenons comme exemple un barrage soumis à PPI avec une dizaine de milliers de personnes exposées en aval, en cas de rupture due à une crue à l'instant T, un déroulement probable serait le suivant :

- T-11h : passage en vigilance renforcée, mobilisation des autorités,
- T-7h : passage en préoccupations sérieuses, lancement de l'alerte,
- T-5h : ensemble de la population alertée,
- T-1h : ensemble de la population mobilisée,
- T+5h : ensemble de la population évacuée horizontalement.

La courbe suivante de pourcentage de la population mise en sécurité pourrait être établie :

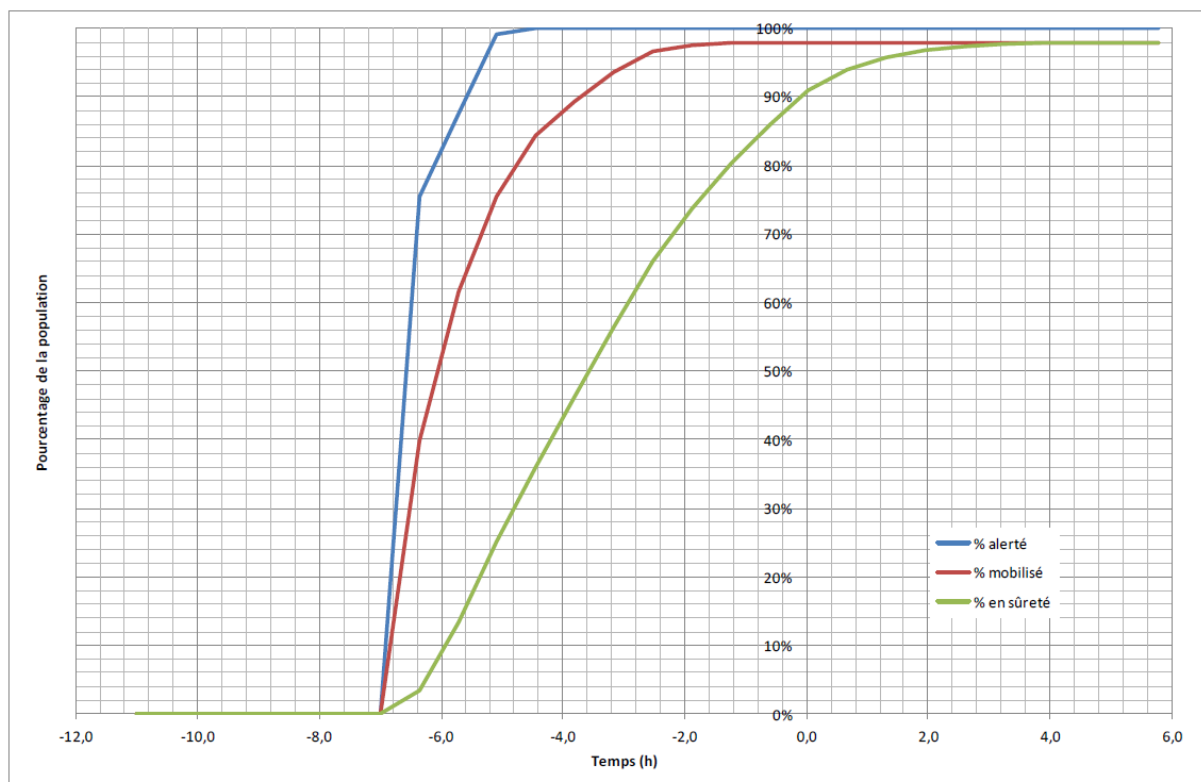


Figure 6 : Pourcentage de la population mise en sécurité en fonction du temps dans le cas d'une rupture d'un barrage soumis à PPI exposant 10 000 personnes lors d'une crue avec complications (au sens de la consigne d'exploitation)

Nota :

- Courbes établies à partir du logiciel HEC-FIA ;
- On constate qu'il existe toujours un pourcentage de population sédentaire refusant de quitter les lieux (2% dans la représentation HEC-FIA).

Ainsi, avec les hypothèses prises, 90 % de la population serait déjà en sécurité lors de la survenue d'un ERC de type « rupture de barrage au cours d'une crue exceptionnelle ».

En cas de rupture sans préavis possible, si des sirènes retentissent, a priori, au moment de la rupture et il est possible que la population essaie d'évacuer horizontalement sans attendre la mobilisation des autorités, mais ce phénomène restera limité. Le temps de propagation d'alerte, de mobilisation puis de mise en sécurité sera long, le nombre de personnes pouvant se mettre en sécurité sera relativement faible. Prenons l'exemple d'un barrage non soumis à PPI avec forte population mobile en aval. En cas de rupture due à une crue, il n'y a pas de PPI ni de courbes isochrones pour connaître le temps avant atteinte de la cote de référence au sens du PPI. Le système de surveillance (bulletins météo, consignes de crues, crues avec complications, etc.) permet d'envisager tout de même une certaine anticipation. Un délai de 4h avant rupture, plus court que dans le cas d'un barrage soumis à PPI, a été supposé.

Du fait du caractère mobile de la population exposée, un temps d'alerte 50 % plus long et un temps de mobilisation 50 % plus court ont été supposés. Nous avons considéré qu'il est plus complexe d'alerter des personnes mobiles dispersées et n'ayant pas forcément de moyen de communication à proximité. En revanche, ces personnes seront vraisemblablement plus rapides à évacuer : aucune action de mise en sécurité de leur bien à faire avant d'évacuer.

Moins de 1000 personnes sont exposées, ainsi un temps d'évacuation de 1h30 a été supposé. Les populations mobiles étant vulnérables, il est supposé que les autorités hésiteraient peu et donneraient l'ordre d'évacuation rapidement, soit au bout de 2h.

Ce qui donne le scénario possible suivant :

- T-4h : information des autorités (passage en vigilance renforcée ou crue avec complication),
- T-2h : lancement de l'alerte (mise en place d'une cellule de crise des pouvoirs publics et prise de la décision d'évacuation par les autorités),
- T+1h : ensemble de la population alertée (cf. courbe HEC-FIA, Figure 7),
- T+2h : ensemble de la population mobilisée (cf. courbe HEC-FIA, Figure 7),
- T+3.5h : ensemble de la population évacuée horizontalement (cf. courbe HEC-FIA, Figure 7).

Ainsi, 65 % de la population (figure ci-après) serait déjà en sécurité lors de la rupture du barrage au cours d'une crue exceptionnelle :

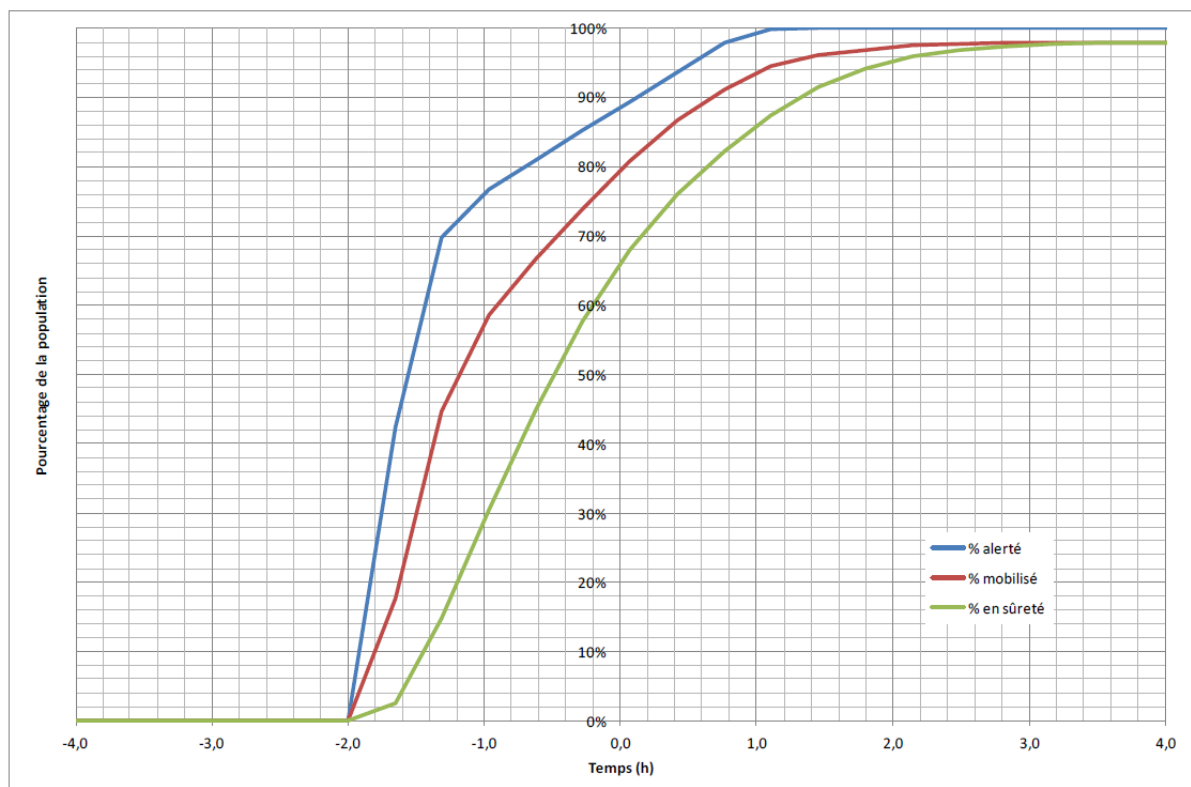


Figure 7 : Pourcentage de la population mise en sécurité en fonction du temps dans le cas d'une information aux autorités 4h avant la rupture pour un barrage non soumis à PPI avec forte population mobile en aval

2.5. Limites de l'approche proposée :

La méthode présentée ci-dessus et appliquée à deux cas de barrages fictifs a été mise en place avec de nombreuses hypothèses prises empiriquement (temps d'évacuation en fonction du nombre de personnes exposées, rythme d'évacuation des populations, etc.). Elle a le mérite de fournir un cadre global, une trame identique et homogène de traitement des différents cas, mais nécessite un long temps d'approfondissement pour étayer chaque hypothèse prise avant un déploiement pour chaque ERC dans le cadre d'une EDD. Elle illustre l'utilité des plans d'alerte (PPI notamment) et pourrait éventuellement permettre d'en proposer des améliorations ou de relativiser les conséquences de certains événements redoutés centraux (ERC) ne pouvant se produire qu'en crue.

Il ressort également de ces exemples, la sensibilité des résultats au mode de rupture. En effet, en cas de crue, les précurseurs permettraient d'anticiper l'alerte et de réduire fortement le nombre de victimes, alors qu'en l'absence de précurseurs, sans préavis, l'alerte n'aurait que peu d'impact. Cette sensibilité sera a priori présente sur la majorité des barrages. Il suffit en effet d'avoir des foyers de populations conséquents en aval proche du barrage pour observer cette sensibilité.

Les constats génériques qui peuvent être tirés des analyses précédentes sont les suivants :

- Les personnes sédentaires sont plus faciles à alerter, mais plus difficiles à mobiliser. Pour les deux types de population, il faut 1h pour mobiliser (alerte + mobilisation) environ la moitié des personnes exposées,
- Pour les ERC n'engendrant pas de risque structurel, une évacuation verticale est quasiment instantanée, le temps d'alerte est donc le paramètre le plus influent. Ainsi, en 1h (alerte + mobilisation + évacuation), la moitié de la population peut être en sécurité,
- Pour les ERC (principalement les ruptures de barrages) entraînant des risques structurels, l'évacuation des populations est l'étape demandant le plus de temps. Et ce temps varie exponentiellement avec le nombre de personnes sédentaires exposées.

Dans le contexte des EDD, il est difficile de mettre en place de manière aussi détaillée pour chaque ERC cette approche détaillée. C'est pourquoi une estimation simplifiée, cohérente avec les principes et les études de cas exposées précédemment a été retenue pour les EDD (cf. partie 3).

3. APPLICATION A LA DEFINITION DE LA CINETIQUE DES ERC DANS LES EDD

3.2. 3.1. Définitions :

1. Personne exposée :

Une personne est considérée comme exposée si elle se trouve dans la zone d'expansion de l'onde créée par la survenue d'un ERC, indépendamment de critères de hauteur et de vitesse. Il s'agit donc de personnes « mouillées » hors de toute analyse de la létalité potentielle des phénomènes.

A des fins de calcul, il est retenu dans les études conduites par EDF-CIH les critères de comptage suivants pour l'évaluation des conséquences aval des ERC dans le contexte des EDD :

- Dépassement du gradient de 5 cm par minute pour les personnes mobiles,
- Dépassement d'une surcote de 25 cm pour les personnes sédentaires.

2. Enjeu représentatif au regard de l'ERC :

Il s'agit de l'enjeu aval rencontré faisant entrer l'ERC dans la classe de gravité immédiatement inférieure à celle de sa cotation finale.

Exemples :

- Pour un ERC exposant 1 à 10 personnes : la première personne touchée constitue un enjeu représentatif.
- Pour un ERC exposant 1 000 à 10 000 personnes : le point où la somme des personnes comptabilisées à l'aval dépasse 1 000 personnes constitue un enjeu représentatif. De façon simplifiée, cela peut être par exemple le premier village rencontré par l'onde de rupture.

3. Cinétiques :

La notion de cinétique telle que développée ici englobe les trois notions suivantes :

- Cinétique pré-accidentelle : Elle correspond à la période entre le début détectable de l'événement initiateur (EI) et le début des lâchers d'eau intempestifs à l'aval,
- Cinétique accidentelle : Elle correspond à la période entre le début des lâchers d'eau à l'aval consécutifs à la survenue de l'événement initiateur et l'atteinte du débit maximal de l'ERC,
- Cinétique post-accidentelle : Elle correspond à la période entre la survenue de l'ERC et l'atteinte des conséquences à l'aval (du premier enjeu représentatif dans la méthodologie présentée ici).

3.3. Cinétique lente ou rapide ?

La notion de cinétique rapide ou lente s'applique à la cinétique globale de l'ERC de l'aspect pré-accidentel à l'atteinte des conséquences à l'aval.

La distinction entre lente et rapide peut se faire par comparaison du temps de réaction disponible et d'un temps de référence lié à la capacité d'évacuation de l'enjeu, considéré documenté en partie 2.

Le temps disponible est donc défini comme le temps disponible entre la détection de l'ERC et l'atteinte du premier enjeu représentatif, en fonction des critères de comptage des personnes exposées.

Cet instant de « détection de l'ERC » est le moment où l'exploitant va comprendre qu'un ERC s'est produit ou va se produire et qu'il va immédiatement après réagir en conséquence (alertes puis réalisation d'éventuels gestes afin de limiter la gravité des conséquences, etc.). Ce moment peut être distinct dans le temps des premières observations des phénomènes liés à l'amorce de l'ERC (fuites, hausse de la piézométrie, etc.) qui ne donnent pas nécessairement lieu à un déclenchement de l'alerte aux autorités, voire de la survenue de l'ERC lui-même. Une analyse spécifique est donc à conduire au cas par cas au regard des consignes d'exploitation et des particularités de l'ouvrage pour chaque ERC.

Les temps de référence auxquels ce temps disponible va être comparé ont été estimés à partir des analyses présentées en partie 2 et le retour d'expérience présenté dans le guide [4]

Pour chaque classe de personnes exposées (PE) peuvent donc être associés les temps de référence suivants :

Type d'enjeu	Temps de référence
1 à 10 PE	1 h
10 à 100 PE	
100 à 1 000 PE	
1 000 à 10 000 PE	2 h
10 000 à 100 000 PE	12 h
> 100 000 PE	36 h

Figure 8 : Temps de référence utilisés par EDF-CIH pour l'évaluation de la cinétique des ERC dans les EDD

Des écarts aussi significatifs illustrent le constat assez trivial qu'il est plus rapide pour un petit nombre de personnes que pour un grand de :

- Décider de leur évacuation,
- Les alerter,
- Les mobiliser et les évacuer.

3.4. Quelques illustrations :

Cette approche conduit à définir une grande majorité des cinétiques des ERC comme rapide.

Cette conclusion est en partie conditionnée par la difficulté de caractériser comme telle une cinétique pré-accidentelle, surtout hors crue. En effet, même en cas d'évènement non soudain, il est souvent difficile de garantir que l'exploitant va être en mesure de détecter les phénomènes observés comme les éléments d'une cinétique pré-accidentelle d'un ERC et enclencher en conséquence les procédures d'alerte permettant de décompter le temps disponible. Dans une majorité des cas, une libération brusque d'un débit conséquent constitue le point de départ du décompte du temps disponible. Le temps disponible est alors directement corrélé au temps de propagation de l'onde vers l'aval. Ce constat est à nuancer pour les évènements se produisant en crue, le passage en état de « crue avec complication » implique une alerte aux autorités explicitement indiquée dans les consignes d'exploitation.

Néanmoins, dans un certain nombre de cas, il est possible d'initier le décompte du temps disponible en amont de la survenue de l'ERC :

- Instrumentation disponible permettant de caractériser clairement les phénomènes.

Exemple : L'initiation d'un phénomène d'érosion interne d'une digue ou d'un barrage en remblai peut être lent et peut dans certains cas ne pas être identifié avant que le processus de rupture soit bien entamé. Dans ce cas, le décompte du temps disponible commencera après le début de l'ERC : il est lié à la capacité de l'exploitant à détecter le phénomène (notamment les fontis conséquents),

- Procédures d'exploitation permettant de confirmer un lancement de l'alerte en amont.

Exemples :

- Passage en état de crue avec complication en amont de la survenue de l'ERC,
- Cas d'un ERC relatif à la rupture d'un barrage en crue en cas de non-ouverture de ses vannes, l'exploitant va, lors du passage en état de veille ou de crue, détecter le dysfonctionnement des vannes et sera en mesure, bien avant le pic de crue et l'atteinte de la cote de danger du barrage, d'identifier que l'ERC va se produire et donc d'agir en conséquence. Dans ce cas le décompte du temps disponible peut débuter bien avant la survenue de l'ERC, potentiellement au moment des premières vérifications quant à la manœuvrabilité des vannes.

On voit ainsi que le temps disponible n'est pas uniquement conditionné par la rapidité du phénomène générant la libération d'eau.

De façon plus générale, la réflexion conduite ici met également en avant l'importance capitale de la qualité et de la maîtrise des données suivantes :

- La complétude de l'instrumentation et de son analyse, afin de détecter au plus tôt les potentiels EI,
- La description précise et détaillée des événements initiateurs, afin de pouvoir caractériser les phénomènes observés comme des EI,
- La qualité et l'exhaustivité des documents d'exploitation vis-à-vis de la conduite à tenir dans ces situations, afin de minimiser les temps de réaction et les conséquences à l'aval.

4. CONCLUSION

La qualification de la cinétique telle que proposée dans l'article met en évidence la possibilité de mettre en sécurité les personnes en cas de survenue d'un ERC. Elle constitue donc un moyen utile à l'analyse de risques pour préciser et mieux appréhender la gravité effective des ERC.

La mise en œuvre de cette réflexion ouvre également des perspectives de réduction de la gravité des conséquences aval. En effet, elle ouvre la voie à une réflexion portant sur l'optimisation des procédures d'exploitation à mettre œuvre en cas d'alerte afin de maximiser les chances de mise en sécurité des personnes.

RÉFÉRENCES ET CITATIONS

- [1] Arrêté du 3 septembre 2018 modifiant l'arrêté du 12 juin 2008 définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu – MTES – 03/09/2018
- [2] Conséquences d'accidents majeurs de Barrages : état des réflexions de l'INERIS pour l'évaluation de la gravité, ineris-00973633 – INERIS – 04/04/2014
- [3] L'évacuation massive des populations – Les territoires face à l'inondation – Centre Européen de Prévention de Risque d'Inondation (CEPRI) – 05/2014
- [4] Guide ORSEC – Alerte et information des populations – Tome G.4 – Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises – Ministère de l'Intérieur – 06/2013