

## Consensus hydrologique de la tempête ALEX du 2 et 3 octobre 2020 dans les Alpes-Maritimes

*Towards a hydrological consensus about the 2nd – 3rd October 2020 ALEX storm event in the French “Alpes Maritimes” region*

**Auteurs :** Frederic Pons<sup>1</sup>, Laurent Bonnifait<sup>1</sup>, David Criado<sup>1</sup>, Olivier Payrastra<sup>2</sup>, Felix Billaud<sup>3</sup>, Pierre Brigode<sup>4</sup>, Catherine Fouchier<sup>5</sup>, Philippe Gourbesville<sup>6</sup>, Damien Kuss<sup>7</sup>, Nathalie Le Nouveau<sup>8</sup>, Olivier Martin<sup>9</sup>, Céline Martins<sup>10</sup>, Stan Nomis<sup>11</sup>, Emmanuel Paquet<sup>12</sup>, and Bernard Cardelli<sup>13</sup>

<sup>1</sup> Cerema, Aix-en-Provence, France

<sup>2</sup> GERS-LEE, Univ Gustave Eiffel, Ifsttar, Bouguenais, France

<sup>3</sup> Régie Eau d’Azur, Nice, France

<sup>4</sup> Université Côte d’Azur, CNRS, OCA, IRD, Geoazur, France

<sup>5</sup> INRAE, RECOVER, Aix-Marseille Université, Aix-en-Provence, France

<sup>6</sup> Université Côte d’Azur, Polytech Nice Sophia, Nice, France

<sup>7</sup> SYMBHI, Grenoble, France

<sup>8</sup> MNCA, Service Gemapi, Nice, France

<sup>9</sup> DREAL PACA, Service Hydrométrie, Aix-En-Provence, France

<sup>10</sup> ONF/RTM, Chambéry, France

<sup>11</sup> SMIAGE, pole Etude et conception, Nice, France

<sup>12</sup> EDF-DTG, Grenoble, France

<sup>13</sup> DDTM des Alpes-Maritimes, Nice, France

**Résumé :** Suite aux inondations catastrophiques les 2 et 3 octobre 2020 dans le département des Alpes Maritimes, le Cerema a été chargé de coordonner une expertise hydrologique sur les bassins versants du Var et de la Roya. Elle est réalisée dans le cadre d’un retour d’expérience (RETEX) technique piloté par la Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM 06) pour le compte du Préfet des Alpes-Maritimes. Les principaux résultats, qui ont fait l’objet d’un consensus avec les partenaires, permettent de caractériser l’évènement ALEX pour les vallées de l’Estéron, de la Tinée, de la Vésubie, du Var et de la Roya. Le travail de consensus s’est appuyé sur une comparaison graphique de diverses approches d’estimations provenant des divers organismes impliqués. L’objectif était de faciliter la visualisation des convergences et divergences des multiples estimations de débits de pointe pour aboutir à un consensus. Le résultat final permet la fourniture de graphiques de débit de pointe par vallée avec des estimations basses et hautes. Cela permet un partage commun d’information associé à des incertitudes des débits sur ce type de retour d’expérience, en particulier dans un contexte torrentiel.

**Mots-clefs :** Tempête ALEX – Retour d’expérience – Débits de pointe

**Abstract°:** Following the catastrophic floods on October 2 and 3, 2020 in the Alpes Maritimes department, Cerema has been asked to coordinate a hydrological expertise on the Var and Roya river basins. It is carried out within the framework of a technical post-event survey (RETEX) led by the Departmental Directorate of Territories and the Sea (DDTM 06) on behalf of the Prefect of the Alpes-Maritimes. The main results, which were the subject of a consensus with

the partners, make it possible to characterize the ALEX event for the valleys of the Estéron, Tinée, Vésubie, Var and Roya rivers. The consensus work was based on a graphical comparison between various approaches provided by different organizations. The objective was to facilitate the visualization of differences of the various estimations of peak flows to reach a consensus. The final result provides peak flow graphs by valley with low and high estimations. This allows a common sharing of information associated with flow uncertainties on this type of flood event, especially in a torrential context.

**Keywords:** ALEX storm – Post-event survey – Peak flow

## 1. Une pluviométrie exceptionnelle

Après avoir touché l’Ouest de la France, la tempête ALEX a provoqué des pluies intenses et persistantes dans les Alpes-Maritimes, le vendredi 2 octobre jusqu’au milieu de la nuit, avant de s’évacuer en direction de l’Italie. Ces zones de relief sont difficilement couvertes par les radars météorologiques et peu de postes pluviométriques y sont implantés, d’où une sous-estimation des pluies en temps réel. La pluviométrie de cet épisode est localement exceptionnelle, sur des durées comprises entre 6 heures et 24 heures, et dépasse les maximums connus dans les Alpes-Maritimes et la région Provence-Alpes-Côte-d’Azur. Avec 663 mm en 24 heures au poste pluviométrique des Mescès sur le bassin de la Roya (Gestionnaire EDF), l’évènement du 2 octobre 2020 rejoint la catégorie des évènements extrêmes et des records historiques recensés en France sur le pourtour méditerranéen (Cerema 2021-2).

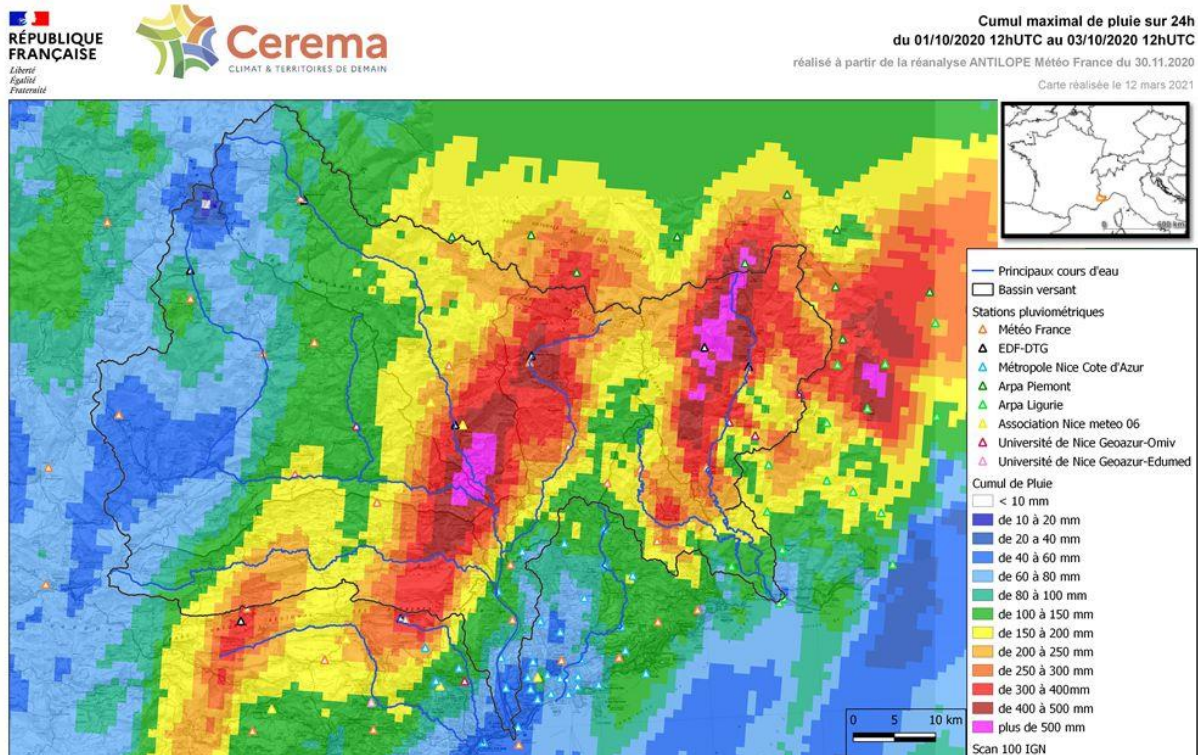


Figure 1 : Cumul maximal de pluie sur une durée de 24h lors de la tempête ALEX



La Figure 1 fournit les résultats de cumul maximum sur 24 heures provenant d’une réanalyse de la lame d’eau Météo France à partir de très nombreux postes pluviométriques, français et italiens et d’organismes très divers.

## 2. Une crue particulièrement morphogène

Ces fortes pluies, particulièrement intenses sur certaines parties des hauts bassins versants ont provoqué une rapide augmentation des débits ; les pics de crue ont été atteints en quelques heures seulement. La présente étude vise à quantifier les débits de pointe en différents points des cours d’eau touchés par l’événement. Cette estimation est particulièrement complexe pour les raisons suivantes :

- La violence des écoulements a provoqué des évolutions morphologiques majeures et irréversibles, tant en extension qu’en altimétrie, dans les lits mineurs et majeurs d’Ouest en Est de la Tinée, de la Vésubie et de la Roya. Dans certains secteurs, le fond a varié de plusieurs mètres, avec des phénomènes de surcreusement (incision du lit) ou de comblement (exhaussement). Néanmoins, la géométrie du cours d’eau au moment du pic de crue n’est pas connue. Des hypothèses très fortes ont donc dû être retenues sur cette donnée d’entrée qui influence directement et fortement les calculs de capacité hydraulique des cours d’eau ;



- Des volumes considérables de matériaux érodés ont été charriés (transport solide) ; des tronçons entiers de ripisylve (forêts alluviales) ont été emportés et ont provoqué des embâcles sur les ouvrages ; des berges, des ponts, des portions de route et de nombreuses habitations ont été détruites. La chronologie de ces événements est peu ou pas documentée. La prise en compte de ces phénomènes naturels complexes est illusoire dans les calculs hydrauliques utilisés classiquement en ingénierie opérationnelle.



Figure 2 : Vésubie – Photos IGN aériennes avant/après ALEX et photo oblique Cerema sur le secteur de Roquebillière



### 3. Estimations des débits de pointes

Il n’y a pas de solution unique pour estimer les débits de pointe lors de tempête type ALEX.

Les mesures de hauteur d’eau au droit des stations hydrométriques apportent des informations sur la chronologie de la montée des eaux. Cependant, certains capteurs ont été arrachés (cas du bulle à bulle à Utelle sur la Vésubie), vu la violence des phénomènes et l’importance du transport solide, et les capteurs d’une même station ont parfois fourni des mesures incohérentes (limites physiques et techniques des mesures). Sur la Tinée et la Vésubie, l’important transport solide et les changements morphologiques qui en découlent viennent modifier les relations hauteur- débit au droit des stations et rendent inapplicables les courbes de tarage établies avant l’événement. Au-delà de ces quelques stations, les modèles numériques utilisés par le Cerema (2021), les évaluations réalisées dans le cadre d’HyMeX (Payrastré et al 2022) et les estimations RTM, simulent l’écoulement de débits injectés dans le cours d’eau, pour essayer d’atteindre les niveaux des repères des plus hautes eaux (PHE) ou ceux des traces laissées par les crues lors des débordements (laisses de crues) (Figure 3). De nombreuses incertitudes conduisent à ne pouvoir techniquement proposer, sur de nombreux secteurs étudiés, que des intervalles de débits jugés plausibles.

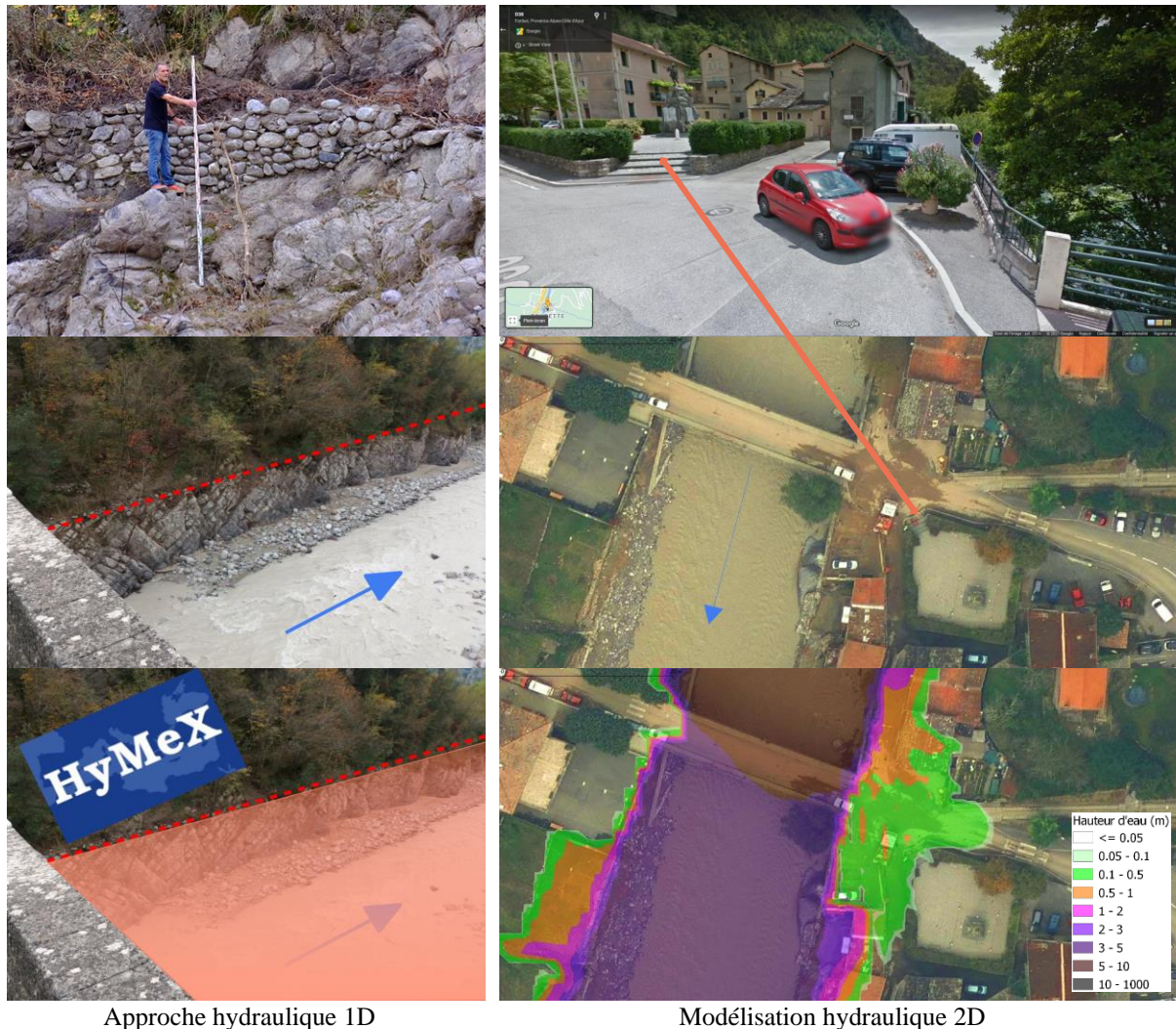


Figure 3 : Exemples de méthodes de cartographies par approche hydraulique suite à des reconnaissances terrain  
(Orthophoto IGN post-ALEX, Google Street View)

Le principal paramètre de réglage des modèles (le frottement) est difficile à estimer précisément dans ce genre de cours d'eau et pour un événement de cette ampleur. On est donc contraint d'associer un intervalle raisonnable de valeurs de ce paramètre avec un intervalle de valeurs de débits, afin de reproduire les hauteurs d'eau atteintes.

D'autres partenaires ont utilisé des modèles hydrologiques dont l'objectif est de convertir les pluies en débits dans les cours d'eau. Ces modèles sont sensibles à divers paramètres de calcul, notamment ceux caractérisant la part des pluies s'infiltrant dans le sol des bassins versants et celle ruisselant qui produit des écoulements de surface et vient alimenter les cours d'eau. Ces paramètres sont difficiles à caractériser et varient en fonction notamment de la nature des sols et sous-sols, de leur degré de saturation initiale, de l'intensité et de la durée des pluies. Pour certaines approches, des calages sont en général effectués avec des estimations hydrauliques de débits après des analyses de sensibilité (Figure 4). La tempête ALEX ayant été très dynamique, le calage ne peut s'effectuer parfois que sur une partie de la crue.

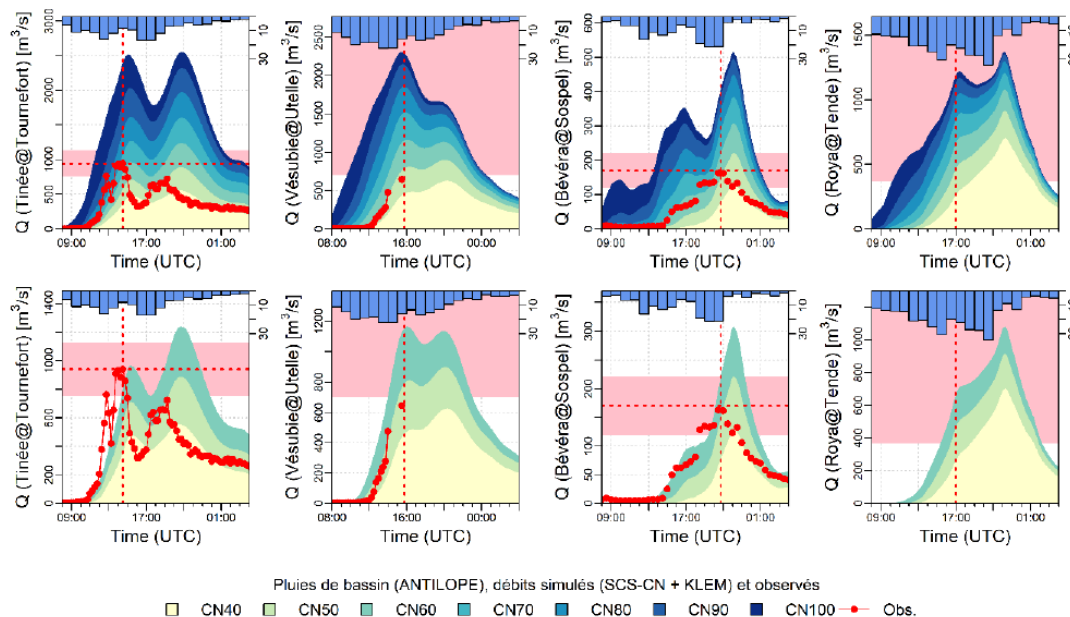


Figure 4 : Modélisation hydrologique et sensibilité aux paramètres du Curve Number (Modèle KLEM – UCA)

#### 4. Travail de consensus hydrologique

Pour avoir une vue d'ensemble uniforme de tous ces résultats, un consensus de ces différentes approches (hydraulique et hydrologique) a été lancé (Cerema et al - 2021, Pons et al 2022-1, Pons et al 2022-2). L'objectif était de comparer, d'évaluer et de proposer des intervalles de débit dans les différentes vallées impactées. Pour atteindre un consensus, toutes les données ont été mises en commun et standardisées. Un atelier de travail et de nombreux échanges ont permis à chaque équipe de partager ses connaissances, les incertitudes associées à son travail.

Pour chaque cours d'eau, un graphique est proposé (Figure 5 à Figure 9) avec :

- en abscisse (axe horizontal), la surface du bassin versant. L'axe des abscisses évolue de l'amont (faibles surfaces drainées) vers l'aval (fortes surfaces drainées) du cours d'eau ;
- en ordonnée (axe vertical), les estimations de débits de pointe.

Sur l'axe des abscisses, les affluents principaux sont notés avec leur nom et la surface drainée associée. Sur les principaux cours d'eau, sous l'axe des abscisses, les communes en rive droite et en rive gauche des cours d'eau sont indiquées.

Les diverses estimations de débits sont représentées successivement provenant des réseaux de mesure (Figure 5), des estimations issues de modèles ou de calculs hydrauliques (Figure 6), des estimations issues de modèles hydrologiques (Figure 7) et des valeurs de débits de pointe qualifiées en termes de période de retour (Figure 8).

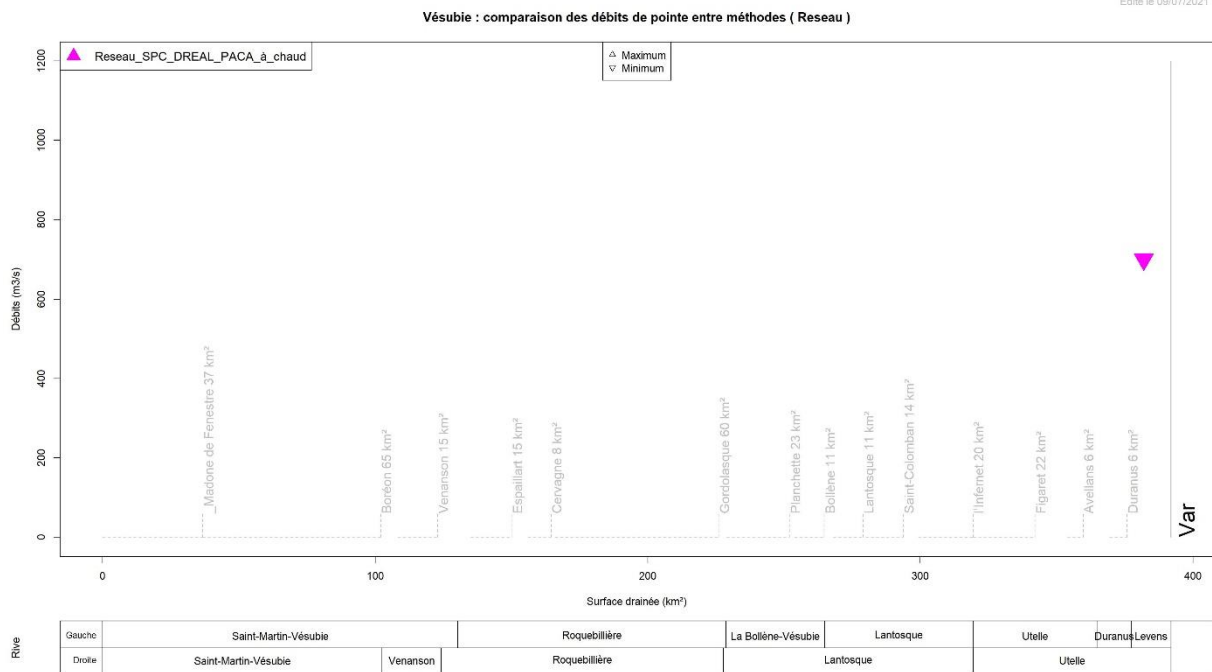


Figure 5 : Vésubie - Estimations fournies par les réseaux de mesure

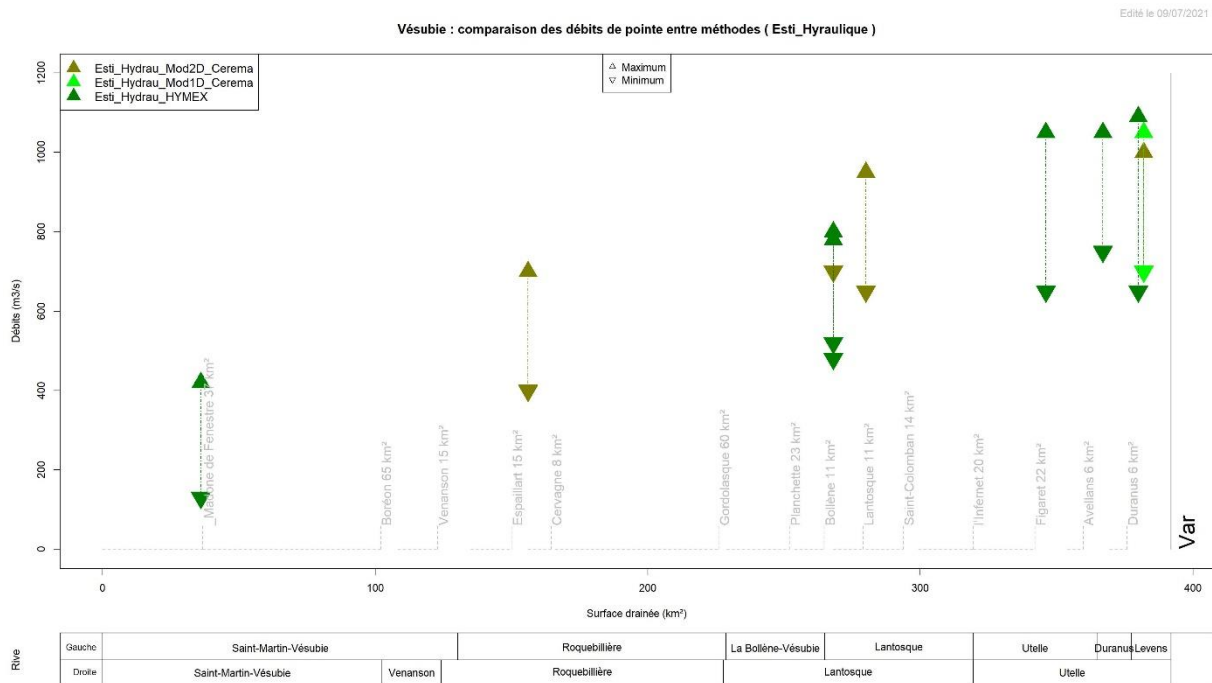


Figure 6 : Vésubie - Estimations issues de modèles ou de calculs hydrauliques



Edité le 09/07/2021

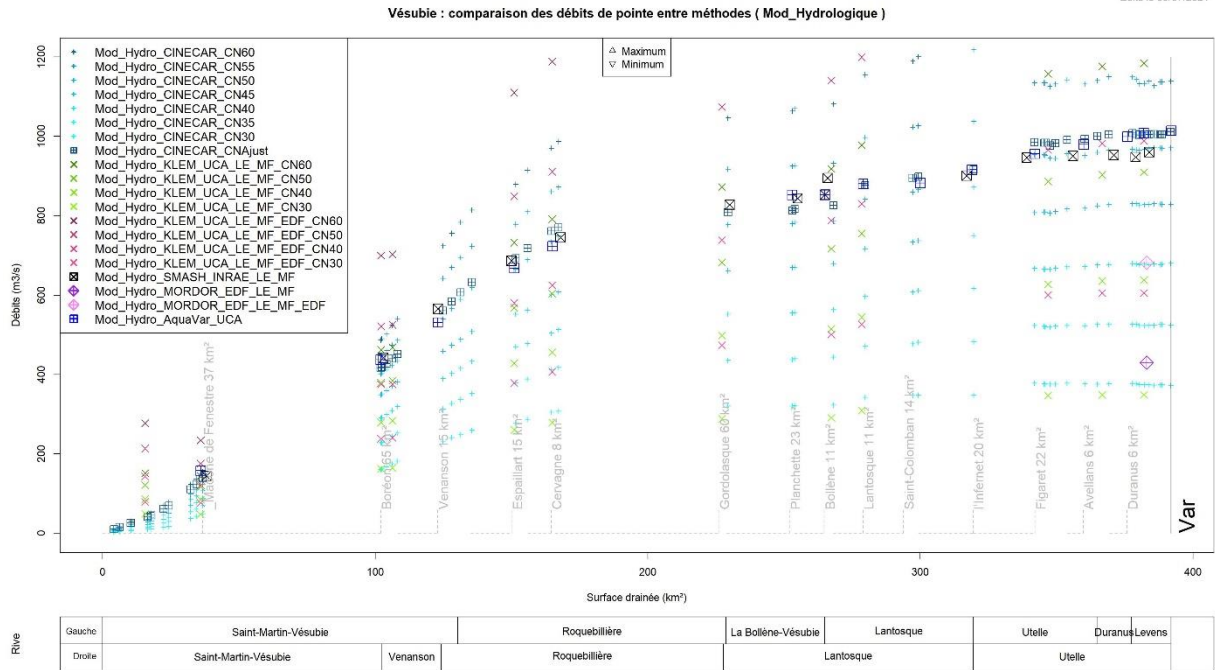


Figure 7 : Vésubie - Estimations issues de modèles hydrologiques

Edité le 09/07/2021

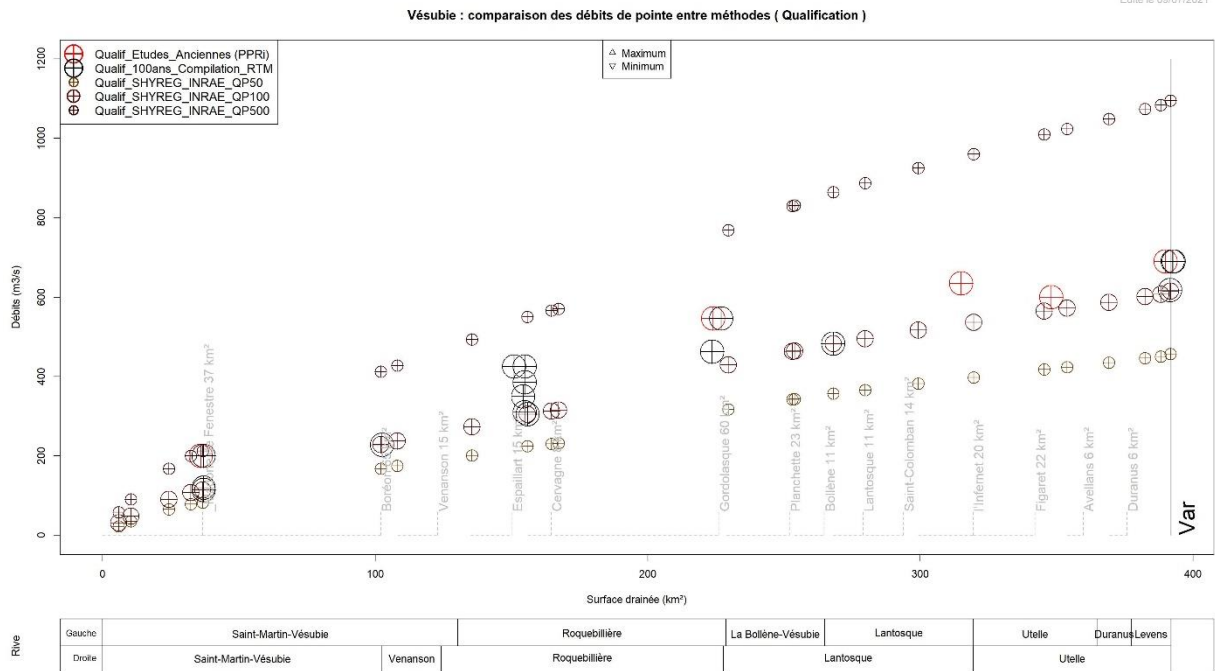


Figure 8 : Vésubie - Valeurs de débits de pointe qualifiées en termes de période de retour

Il est intéressant de voir la répartition géographique des estimations :

- La station d’Utelle a pu fournir une estimation basse en bas de vallée (Figure 5),
- Les estimations hydrauliques sont fournies uniquement sur quelques secteurs qui pouvaient faire l’objet de tests d’estimations hydrauliques (Figure 6), de nombreux secteurs avec un fort transport solide ayant été écartés,

- Les estimations hydrologiques sont beaucoup plus continues, les modèles fournissant des données en de nombreux endroits (Figure 7). Nous avons fait le choix de montrer la sensibilité aux paramètres de calage des modèles SCS,
- Et nous avons aussi fourni les débits de pointe des études anté-ALEX (Figure 8), utiles aussi pour montrer les écarts de ce type d’estimations (valeurs disponibles avant la crue).

Avec la mise dans un standard de comparaison de ces différentes valeurs, il a été ensuite plus aisé de comparer les différentes approches. Cette comparaison a permis à chaque partenaire de voir son positionnement par rapport à un large panel d’estimations. Au final, les estimations sortant d’une fourchette de valeur commune ont souvent été retirées par leur propre producteur. Un produit de cet atelier a été la livraison de fourchette de débits sur de très nombreux tronçons affectés par la tempête par la compilation comme sur l’exemple de la Vésubie (Figure 9), des éléments des Figure 5 à Figure 7. Seules les données qui semblaient cohérentes entre elles ont été retenues, certaines ont donc été écartées après discussions. Le croisement d’approches permet d’apporter un peu de certitudes dans ces diverses approches incertaines et de disposer sur l’ensemble des vallées d’une estimation possible. La valeur de consensus est la valeur en noir (Figure 9) à la confluence avec le cours d’eau principal. En fonction des besoins en haut ou bas de vallée, l’utilisateur doit faire sa propre démarche d’analyse pour établir son débit Alex de référence. Ce travail d’analyse a été mené sur plus de 20 cours d’eau et les principaux, disposant de plusieurs approches d’estimation, ont fait l’objet d’un consensus (Roya, Vésubie, Tinée, var, Estéron...)

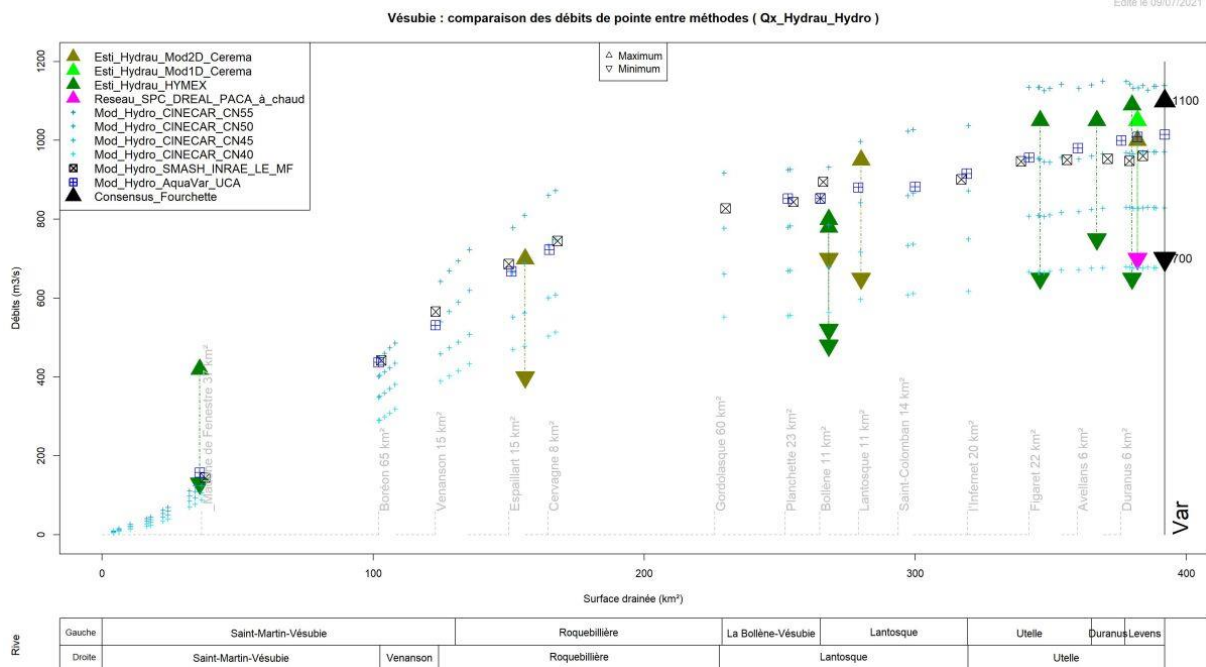


Figure 9 : Vésubie - Comparaison des débits de pointe entre méthodes

La fréquence d’occurrence de tels débits a aussi été recherchée. L’évaluation des périodes de retour des débits de pointe est particulièrement complexe pour des événements rares, en l’absence de longues séries de données fiables. Pour les estimer, la démarche de consensus s’est appuyée sur les valeurs indiquées dans les études produites pour l’établissement des Plans de prévention des risques inondations (PPRI), disponibles sur le site de la préfecture des Alpes-Maritimes, une compilation de données de débits « 100 ans » provenant de l’ONF/RTM ainsi que sur les résultats statistiques des modélisations effectués par l’INRAE (base de données SHYREG) (Figure 8). L’estimation des périodes de retour dans ces gammes de débit de pointe doit être appréciée avec beaucoup de prudence et de modestie.



Sur la Roya et la Vésubie, les estimations par le consensus des débits de pointe atteints durant la tempête Alex, atteignent ou dépassent, les plus fortes valeurs de débits annoncées dans les études antérieures réalisées pour l'établissement des PPRi. Sur les autres cours d'eau étudiés (Tinée, Estéron, Var amont et aval), les estimations sont plutôt inférieures aux débits qualifiés de centennaux dans les études précitées. Ces résultats sont à analyser au cas par cas sur les affluents fortement impactés de la Tinée aval, certains affluents de la Vésubie, et les affluents en rive droite de la Roya. Ils ont fait l'objet d'un porter à connaissance auprès des acteurs locaux (Préfet des Alpes-Maritimes 2021-1).

Ce travail de consensus établi sur les débits dans le cadre de la partie hydrologique du Retex doit être mis en parallèle de la partie torrentielle du Retex pilotée par l'ONF/RTM (Préfet des Alpes-Maritimes – 2021-2). Le débit de pointe, facteur important et majeur ne doit pas faire oublier que l'intensité des transports solides, et des modifications morphologiques, en particulier sur les parties amont de la Vésubie et de la Roya, comme sur bon nombre de leurs affluents et de la Tinée aval, peuvent avoir des fréquences inférieures (périodes de retour plus importantes) à celle estimées pour les débits, favorisée en particulier par la durée de la crue.

## 5. Synthèse

Les estimations de débit de pointe sont souvent menées lors d'épisodes majeurs, à des échelles opérationnelles locales comme pour rechercher l'évènement le plus important connu dans le cadre de PPRi (JORF n°0156 du 7 juillet 2019) à des échelles internationales et de recherche (Gaume 2009).

La recherche d'un consensus post-ALEX, à l'échelle des vallées touchées, entre le monde des opérationnels et de la recherche nous semble original.

Pour les travaux sur la tempête Alex, de nombreuses techniques ont été utilisées par les différents partenaires pour estimer les débits au cours de ce type d'évènements extrêmes en région méditerranéenne. Il ressort de l'analyse qu'il n'y a pas une seule discipline (hydrologie, hydraulique, terrain...) qui permet de déterminer de manière exacte des débits de pointe mais plutôt une analyse croisée des diverses estimations pour aboutir à un consensus. Le principal apport a été de mettre en place un outil de comparaison partagée et graphique sans brider les différentes techniques d'estimations qui ont toutes un intérêt en fonction du secteur traité et des problématiques torrentielles. A titre d'anecdote, mais qui n'en est pas une, les graphiques, travaillant à la fois en cours d'eau/affluent et communes répondent à des besoins des scientifiques et des techniciens travaillant sur le bassin versant, la rivière, l'affluent, et aussi aux besoins des élus et des autorités qui travaillent à des échelles administratives, en particulier la commune. Cette représentation simple a permis à un large public de comprendre ces estimations par rapport à ses intérêts, et de représenter les sauts de débits liés à certains affluent majeurs, comme sur la Tinée aval. Les incertitudes, ou au moins, les fourchettes basses et hautes fournies par les diverses estimations ont aussi contribué à sensibiliser les divers acteurs à la difficulté de ce type d'exercice.

*La Préfecture des Alpes-Maritimes, a porté à connaissance des valeurs « de référence administrative » de débits pour ces crues, lesquelles ne devront pas faire oublier les marges d'incertitude, parfois importantes qui les accompagnent. Ces éléments sont essentiels pour la planification et le dimensionnement des aménagements et la bonne appréhension d'éventuelles crises.*

Ce travail est une contribution au socle de connaissance de la tempête ALEX, important à capitaliser sur ce type d'évènement. Les valeurs « administratives » obtenues sont à utiliser pour les aspects définis dans le Porté à Connaissance. En complément, les fourchettes hautes et basses peuvent tout à fait servir à des analyses de sensibilités des divers modèles ou des aménagements envisagées pour évaluer les possibles effets de seuil comme des emprises d'inondations ou des champs de vitesses très différents à « quelques » mètres cube.

## 6. Références

- Cerema (2021), RETEX technique ALEX, Inondations des 2 et 3 octobre 2020 Expertise hydrologique– Rapport d’étape
- Cerema, DDTM06, DREAL PACA, EauAzur, EDF, INRAE, MNCA, ONF-RTM, SMIAGE, SPC (Météo France), UCA, Univ. Eiffel (2021) RETEX technique ALEX, Inondations des 2 et 3 octobre 2020, Consensus hydrologique
- Gaume, E., Bain, V., Bernardara, P., Newinger, O., Barbuc, M., Bateman, A., Blaškovičová, L., Blöschl, G., Borga, M., Dumitrescu, A., Daliakopoulos, I., Garcia, J., Irimescu, A., Kohnova, S., Koutroulis, A., Marchi, L., Matreata, S., Medina, V., Preciso, E., Sempere-Torres, D. (2009). A compilation of data on European flash floods. *Journal of Hydrology*, 367(1–2), 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.12.028>
- JORF n°0156 du 7 juillet 2019, Décret n° 2019-715 du 5 juillet 2019 relatif aux plans de prévention des risques concernant les « aléas débordement de cours d’eau et submersion marine » - NOR : TREP1909017D - <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2019/7/5/TREP1909017D/jo/texte>
- Payrastre O., Nicolle P., Bonnifait L., Brigode P., Astagneau P., Baise A., Belleville A., Bouamara N., Bourgin F., Breil P., Brunet P., Cerbelaud A., Courapied F., Devreux L., Dreyfus R., Gaume E., Nomis S., Poggio J., Pons F., Rabab Y., Sevrez D.(2022): Tempête Alex du 2 octobre 2020 dans les Alpes-Maritimes : une contribution de la communauté scientifique à l’estimation des débits de pointe des crues, LHB, DOI: 10.1080/27678490.2022.2082891
- Pons, F., Bonnifait, L., Criado, D., Payrastre, O., Billaud, F., Brigode, P., Fouchier, C., Gourbesville, P., Kuss, D., Le Nouveau, N., Martin, O., Nomis, S., Paquet, E., and Cardelli, B.: Towards a hydrological consensus about the 2nd – 3rd October 2020 ALEX storm event in the French “Alpes Maritimes” region, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-7913, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-7913>, 2022.
- Pons, F., Bonnifait, L., Criado, D., Payrastre, O., Billaud, F., Brigode, P., Fouchier, C., Gourbesville, P., Kuss, D., Le Nouveau, N., Martin, O., Nomis, S., Paquet, E., and Cardelli, B.: Towards a hydrological consensus about the 2nd – 3rd October 2020 ALEX storm event in the French “Alpes Maritimes” region, IAHS Scientific Assembly, Montpellier, France, June 2022, <https://doi.org/10.5194/iahs2022-383>.
- Préfet des Alpes-Maritimes (2021), Tempête Alex – Retour d’expérience technique – Données hydrométéorologique
- Préfet des Alpes-Maritimes (2021), Tempête Alex – Retour d’expérience technique – Volet torrentiel