

Cartographie d'urgence pour la documentation et la gestion des risques naturels

l'exemple de la tempête du 24 juillet 2023 à La Chaux-de-Fonds

■ Marc RIEDO - Julien VALLET - Hugues FOURNIER - David ULRICH - Gildas ALLAZ

L'augmentation de la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes exige des méthodes efficaces pour documenter et gérer de telles catastrophes. À l'exemple de la tempête dévastatrice du 24 juillet 2023 à La Chaux-de-Fonds (canton de Neuchâtel), cet article met en lumière la contribution de la géomatique à la gestion de crise. Outre la description des technologies de mensuration utilisées, qui permettent une cartographie rapide, complète et à haute résolution, les données collectées et les produits et analyses de données qui en découlent sont présentés. Ensuite, l'accent est mis sur les retours d'expérience des différents groupes d'utilisateurs et des principaux acteurs de la gestion de crise, sur la manière dont ces données géographiques ont été utilisées pour donner une vue d'ensemble, prendre des décisions et aider les interventions, les assurances et le travail de remise en état. L'expérience acquise a permis d'améliorer les capacités de gestion de crise des institutions participantes et prouve la grande valeur des données cartographiques rapidement disponibles dans ce contexte.

MOTS-CLÉS
 Cartographie, météorologie, LiDAR, photogrammétrie, orthophotos

MétéoSuisse de phénomène hybride de tornade et microrafale descendante (voir lien en fin de l'article vers l'analyse de MétéoSuisse).

Il a duré moins de 10 minutes et son côté imprévisible n'a pas permis de déclencher la moindre alerte. Le bilan est lourd avec 1 mort, 45 blessés, 3 000 bâtiments endommagés, 25 000 arbres touchés et plus de 120 millions de francs suisses de dégâts seulement pour les bâtiments. Les quelques images sur la *figure 1* montrent l'intensité des dégâts.

Le canton de Neuchâtel (par le SITN – Système d'information du territoire neuchâtelois), la ville de La Chaux-de-Fonds (par le Service technique) et l'Établissement cantonal d'assurances (ECAP) se sont coordonnés pour mandater la société Sixense Helimap afin de réaliser des relevés à très haute résolution par hélicoptère. Ils ont permis de générer des orthophotos de 2, 5 et 10 cm de résolution, de collecter des images obliques (système hexa-cam) et du LiDAR (100 pts/m²). Un

Introduction

Le réchauffement climatique accroît l'occurrence de catastrophes naturelles et de phénomènes météorologiques extrêmes. Ces événements mettent notre environnement naturel et construit sous pression, induisant parallèlement des dégâts aux infrastructures. S'il est primordial de les anticiper par la prévention du risque, il est également crucial de documenter ces phénomènes à des fins d'amélioration des systèmes de prévention, d'alerte et de protection (mesures *in situ*, simulations numériques). La cartographie postévénementielle est essentielle pour documenter de manière tridimensionnelle l'étendue géographique d'un événement. Elle permet aussi de gérer la situation de crise en offrant les informations indispensables à la prise de décision.

Cet article met en lumière les apports de la géomatique dans la gestion de la tempête du lundi 24 juillet 2023 à La Chaux-de-Fonds (canton de Neuchâtel), pour laquelle d'importants moyens ont été mis en œuvre. Cet événement exceptionnel par son intensité avec un pic mesuré à 217 km/h a été qualifié par

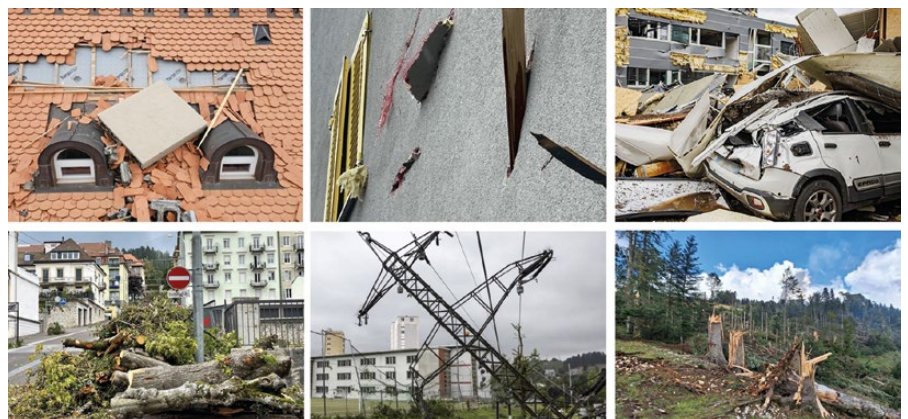


Figure 1. Quelques images des dégâts.

© Pierre Schneider, ingénieur communal

des enjeux majeurs de ces campagnes d'acquisition était la rapidité de la collecte et de la mise à disposition des produits. Sixense Helimap a effectué un premier survol le jeudi 27 juillet, suivi d'une livraison des images brutes le 28 juillet, puis de la livraison de l'orthophoto le 29 juillet, soit respectivement trois et cinq jours après l'évènement. Une version affinée a été livrée avec les données LiDAR le 3 août, soit huit jours après l'évènement. Les orthophotos ont pu être publiées sur le géoportail du SITN le jour de leur réception, offrant une aide considérable aux services d'intervention en charge de la sécurisation des toits. La combinaison des orthophotos, des images obliques, et des relevés LiDAR 3D à très haute densité et leur comparaison avec les résultats de campagnes précédant la tempête se sont avérées extrêmement précieuses et efficaces. Pour accélérer les processus de traitement de données, le recours à de l'intelligence artificielle (IA) pour la classification LiDAR (*Light Detection and Ranging*) a démontré sa puissance.

Moyens cartographiques mis en œuvre

Étant donnée l'étendue de la zone touchée, comprenant les deux villes du Locle et La Chaux-de-Fonds, ainsi que les forêts avoisinantes, une couverture homogène d'urgence par drone n'était pas envisageable car la surface urbaine

couvrait plus de 30 km². La solution aéroportée est apparue plus efficace pour couvrir en très peu de temps une grande surface et a permis de ne pas restreindre la zone d'étude. La solution combinée LiDAR-photogrammétrie héliportée mise en œuvre a permis de réaliser une couverture orthophoto des zones urbaines. L'aéroport des Éplatures se trouvant dans la zone d'intérêt, des autorisations spéciales de survol dans la zone de contrôle (CTR) ont été nécessaires. Le 27 juillet, moins de 72 h après la tempête, un premier vol couvrant les 30 km² a pu être réalisé entre 9h40 et 11h30. Près de 5 000 images de 150 mégapixels avec une résolution de 2 cm et un nuage de points LiDAR avec une densité nominale de ~60 pts/m² ont ainsi été collectés.

Ultérieurement, après concertation avec différents services, la zone d'intérêt a été élargie aux forêts environnantes afin de cartographier l'étendue des dégâts forestiers. Le second vol à 850 m/sol a été réalisé le 10 août 2023 entre 9h30 et 10h40 sur une surface de 40 km². 700 images RGB-NIR de 120 mégapixels avec une résolution de 9 cm ont été collectées, ainsi qu'un nuage LiDAR offrant une densité de ~35 pts/m². Finalement, un troisième survol a été réalisé le 8 novembre, avant l'arrivée de la neige, pour surveiller l'avancement des travaux de remise en état sur les toits. Ces missions ont été réalisées au moyen d'un système cartographique

multicapteurs permettant l'acquisition simultanée de LiDAR HD, d'imagerie nadir RGB-NIR et d'images obliques dans toutes les orientations. Ce dernier est présenté sur la *figure 2*.

Données fournies

La réalisation du premier vol s'est faite dans un contexte d'urgence, avec pour but d'obtenir des résultats aussi vite que possible pour les services d'intervention. Une orthophoto à 2 cm, dite "Quick drop", a pu être livrée le 29 juillet pour l'analyse des dégâts aux bâtiments et toitures des surfaces urbaines. Pour ce faire, le SITN a fourni le MNT cantonal pour orthorectifier les images sans recourir aux données LiDAR. De plus, une technique reposant sur un système inertiel de qualité (IMU) permet d'éviter l'usage de points de calage au sol (*ground control points*) et donc d'accélérer le processus. La très haute résolution de 2 cm en zone urbaine était souhaitée afin d'identifier les dégâts sur les toits avec un maximum de détail, au niveau de la tuile.

Dans un second temps, les données LiDAR ont été traitées pour produire une true-orthophoto. Les données du 10 août ont été ajoutées à la production pour générer, le 16 août, une orthophoto 4 bandes RGB-NIR à 10 cm des zones forestières.

En tout, les acquisitions ont fourni près de 15 000 images, 25 milliards de points LiDAR pour un volume d'environ 3 téraoctets.

Analyses des données, produits et publication

Le système d'information du territoire neuchâtelois (SITN) s'est occupé du traitement, de l'analyse et la diffusion des données issues des trois vols réalisés par Sixense Helimap. Cela a nécessité un investissement exceptionnel, une collaboration étroite avec les utilisateurs et nos partenaires d'acquisition de données. En parallèle, le SITN a aussi travaillé avec la société Flai pour la classification automatique des nuages de points LiDAR en utilisant leur plateforme novatrice de traitement LiDAR basée sur le *cloud computing* et

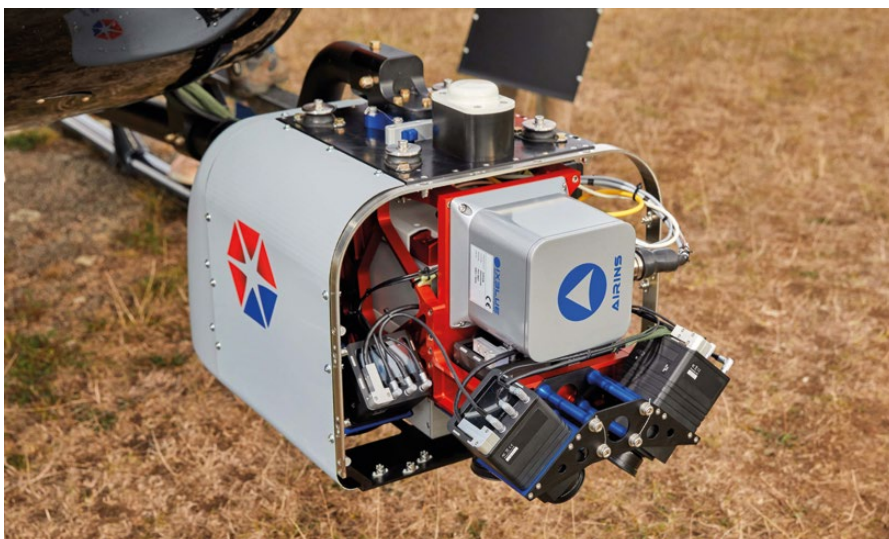


Figure 2. Capteur hexacam pour acquisition de données LiDAR et images RGB-NIR nadir et obliques à très haute résolution.

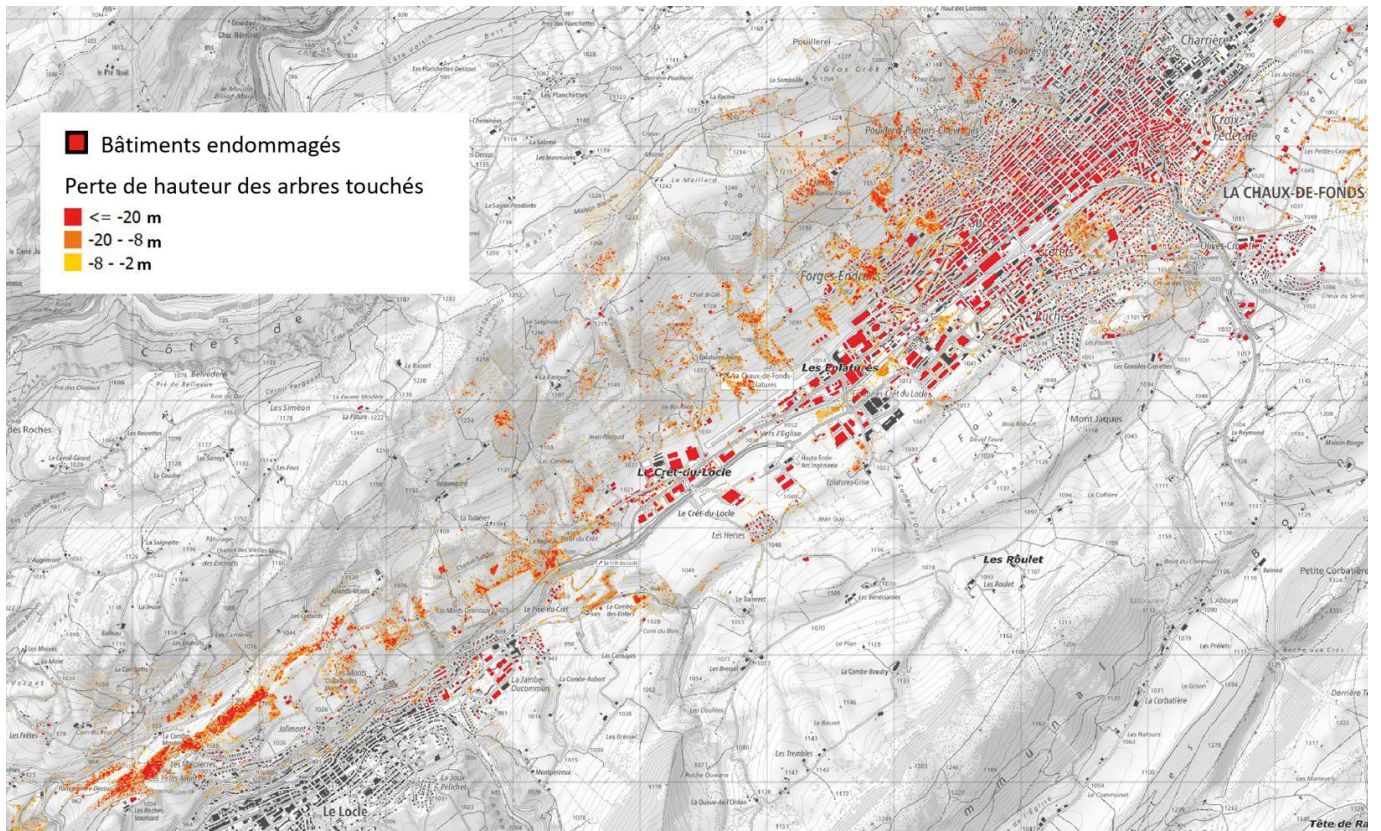


Figure 3. Cartographie synthétique des dégâts avec la différence des modèles de canopée avant et post-tempête.

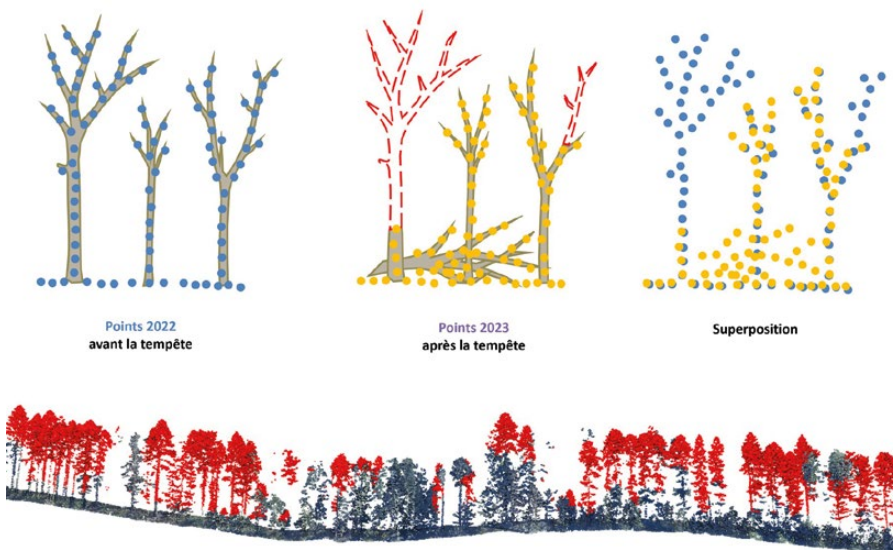


Figure 4. Combinaison des deux nuages de points pré et post-tempête pour analyser en détail les dégâts sur les arbres. En rouge, les arbres ou parties d'arbres détruits par la tempête.

l'IA. Cette dernière approche a permis de gagner plusieurs semaines par rapport à une approche classique de traitement de ces données. Tout a été mis en œuvre pour fournir les meilleures données possibles, le plus rapidement possible. Les défis étaient multiples : gestion des priorités des utilisateurs, coordination des mandataires et partenaires externes (Sixense Helimap, Flai, Swisstopo),

gestion des importants volumes de données, choix des algorithmes les plus adaptés et rapides pour le traitement des données, développements rapides d'applications sur mesure, etc. Voici les principaux produits réalisés et publiés :

- publication rapide, cinq jours après la tempête, d'une orthophoto pour les services de sécurité et d'intervention ;
- collaboration avec Swisstopo (Office

fédéral de topographie swisstopo) pour obtenir en haute priorité les images pré-tempête Swisssimage de mai 2023 afin de faciliter la comparaison avant-après sur des orthophotos avec feuillage ;

- création d'un géoportail sur mesure pour le service des forêts (SFFN) pour la sécurisation et la gestion des interventions ;
- création d'applications SIG basées sur le géoportail cantonal pour l'établissement cantonal d'assurances (ECAP) permettant la localisation, la saisie et le suivi des plus de 3 000 bâtiments sinistrés ;
- création d'une application SIG basée sur QGIS pour le poste de commandement des services d'intervention (SIS) pour la consultation des images brutes, puis la gestion en temps réel de l'avancement des travaux de sécurisation ;
- création d'une application basée sur le géoportail cantonal pour la gestion de la sécurisation des zones forestières ;
- création d'un géoportail simplifié pour les décideurs et les météorologues (MétéoSuisse) pour analyser et diagnostiquer le phénomène et faciliter les comparaisons avant-après ;



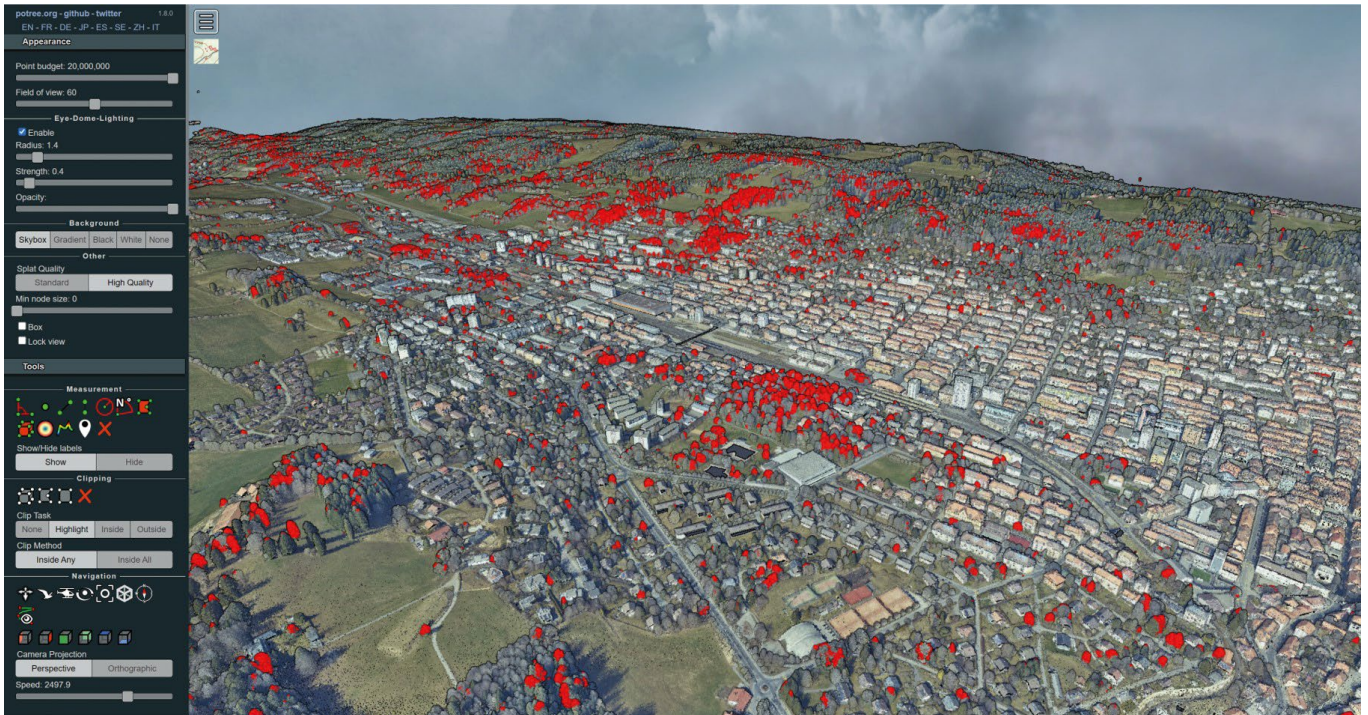


Figure 5. Géoportail 3D LiDAR mettant en évidence les dégâts sur les arbres pour toute la zone touchée.



- publication de l'ensemble des données sur le géoportail cantonal 2D et le géoportail cantonal LiDAR 3D.

Un accent particulier a été mis sur les relevés LiDAR de haute densité qui se sont avérés être un atout majeur dans la cartographie des dégâts subis par la végétation. Afin de faciliter la comparaison des relevés avant et après la tempête, le SITN s'est basé sur son relevé LiDAR cantonal haute densité (>100 pts/m²) du printemps 2022. Pour les orthophotos avant tempête, le SITN a pu compter sur l'aide efficace de Swisstopo qui a généré en priorité le produit Swissimage 2023 pour le vol effectué en mai. Sans ces images, la comparaison aurait été difficile, car les vols étaient trop anciens ou réalisés à une période sans feuilles. Il est en effet difficile de visualiser les dégâts ou comparer la canopée sur deux vols réalisés avec et sans feuillage.

Pour les nuages de points LiDAR, le SITN a procédé à plusieurs types d'analyses pour permettre à la fois une visualisation globale des dégâts à l'échelle de la forêt et un haut niveau de détail à l'échelle de l'arbre. Pour cela, le SITN a proposé différents produits :

- des modèles numériques de canopée avant et après tempête et le calcul de leur différence ;

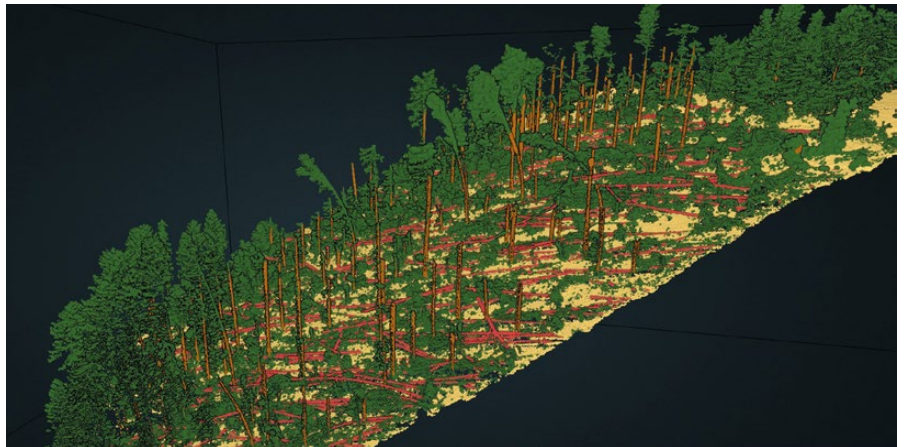


Figure 6. Cartographie des dégâts en forêt, classification par IA des troncs et troncs couchés (collaboration SITN-Flai).

- une fusion des nuages de points avant et après tempête qui permettent une visualisation 3D et des vues en coupe des dégâts à l'échelle de chaque arbre ;
- il a aussi été possible de faire évoluer les algorithmes de classifications par IA pour y intégrer une détection des troncs d'arbres et des troncs couchés.

Une majeure partie des géodonnées issues de ces acquisitions et ces analyses sont visibles en ligne. Les liens sont fournis à la fin de l'article.

Le SITN a également réalisé diverses représentations, vidéos et maquettes 3D interactives basées sur les données LiDAR et des reconstructions photo-

grammétiques (photo mesh) générées à partir des images obliques.

Retour utilisateurs sur l'apport de la géomatique

Les principaux dégâts matériels ont eu lieu sur les 3 000 bâtiments, les voitures, les arbres en ville et dans les forêts avoisinantes. Suite à la mise à disposition des différents produits, analyses et cartes, le SITN a réalisé une enquête auprès des principaux acteurs de la gestion et suivi de crise pour avoir un retour sur l'utilité de ces géodonnées et des applications géomatiques mises en œuvre. En voici une synthèse.



■ **Poste de commandement des pompiers (SIS)**

Le géoportail avec les orthophotos et l'application de suivi des interventions développée sur Qgis ont permis de gagner un temps considérable dans la gestion de cette crise.

Les orthophotos ont offert une vision globale de la situation désastreuse sur les 3 000 toits touchés. Sans ce relevé aérien, il aurait été nécessaire de dresser les camions échelles secteur par secteur pour avoir cette vision de l'étendue des dégâts. Cela aurait pris un temps et une énergie considérable.

Les solutions développées ont permis une vraie gestion en temps réel de l'avancement des travaux de sécurisation des toitures, une vision globale du travail déjà effectué et des travaux encore à réaliser : gestion d'information sur le type de dégât, traitement du problème (par des privés, par les pompiers), nombre de passages.

Elles ont également permis un suivi détaillé des multiples interventions sur les toits puisque plusieurs coups de vent survenus après la tempête ont nécessité de retourner sur des toitures déjà traitées.

Enfin, elles ont été utilisées comme aide à la gestion de conflit. Des propriétaires ont cherché à faire porter la responsabilité aux SIS de travaux mal effectués. Avec les informations saisies dans le logiciel, il a été possible de démentir très facilement ces accusations.

■ **Établissement cantonal d'assurance – ECAP**

Le géoportail développé par le SITN a permis à l'ECAP d'accomplir sa mission en étant le plus objectif possible sans déployer de moyens supplémentaires pour investiguer selon les circonstances :

- prendre les mesures préventives et sécuritaires nécessaires, comme en cas de risques d'arrachement de certains éléments de l'enveloppe du bâtiment ;
- permettre le calcul correct de l'indemnité en fonction de ce qui était présent avant le sinistre et des dégâts observés grâce aux orthophotos ;
- obtenir la vue d'ensemble de l'évènement grâce aux orthophotos a permis d'organiser notre travail à l'interne,

dont la répartition des zones de traitement des sinistres par expert ;

- chiffrer les coûts de la tempête en se basant en partie sur les relevés photographiques réalisés ;
- faire procéder à la fermeture de certains secteurs devenus dangereux en cas de fortes chutes de neige.

■ **Service de la faune, des forêts et de la nature (SFFN)**

La combinaison des orthophotos et du LiDAR a été extrêmement précieuse pour la gestion et sécurisation des zones forestières touchées.

En premier lieu, les données LiDAR rapidement traitées (avant leur classification) pour faire ressortir la perte de hauteur de végétation ont énormément aidé à localiser les zones touchées et donc, faire une première estimation de l'ampleur des dégâts. Les zones forestières touchées étaient vastes et il était impossible d'avoir une vue d'ensemble de la localisation des dégâts et de leur intensité sans ces données.

La planification des interventions a profité de ces géodonnées, notamment pour estimer les zones accessibles ou non en forêt, les places de dépôt potentielles proches des zones touchées, la priorisation des interventions : forêt protectrice, zones parcourues par le public, etc.

La pose de panneaux d'interdiction d'accès pour fermer les sentiers pédestres et chemins forestiers, en collaboration avec la protection civile, s'est basée prioritairement sur les données LiDAR.

Dans un second temps, les données LiDAR plus précises "différence de modèle de canopée 2022-2023" ont été très utiles pour les calculs de volumes de bois mis à terre. Cela nous a permis d'être bien plus précis sur ces quantités. Nous avons estimé au jugé ce volume à 150 000 m³ dans un premier temps, le lendemain de la tempête. Grâce à la différence des MNC (modèles numériques de canopée), nous sommes arrivés au chiffre de 50 000 m³. Tant les données LiDAR que les orthophotos ont été très appréciées pour la communication en permettant de rapidement faire passer l'information sur l'ampleur des dégâts et leur type.

La succession des trois vols LiDAR et des orthophotos a aussi été utile pour analyser des cas de coupes d'arbres suspects. La qualité des données, croisées avec les contrôles effectués sur le terrain ont laissé peu de place aux doutes.

La mise en place très rapide de nouvelles couches sur le géoportail (zone d'intervention, pile de bois, place de stockage) a fait gagner un temps considérable et a permis une coordination optimale des travaux d'abattage et de déblaiement des bois. Cela a permis de coordonner quatre équipes de bûcherons, deux camions de transport et quatre forestiers en charge des décisions d'abattage/élagage de manière très fluide. Des heures de téléphone et déplacements ont pu être économisées tout en maximisant l'efficacité de terrain. Une seule personne au bureau ayant suffi pour coordonner l'ensemble des opérations.

■ **Secteur vert de la ville de La Chaux-de-Fonds**

Les géodonnées et les relevés post-tempête ont principalement été utilisés pour évaluer les sinistres signalés et surveiller d'éventuels abattages non justifiés, réalisés sous couvert de la tempête.

Les photographies aériennes prises avant et après la tempête, effectuées à quelques mois d'intervalle, ont été cruciales pour identifier clairement les arbres disparus suite à la tempête et aux opérations d'urgence, et ceux abattus alors que les mesures d'urgence avaient été levées.

L'utilisation des données LiDAR, tant pour les nuages de points qui permettent de voir et mesurer la hauteur des arbres que pour les MNC illustrant les pertes de couverture végétale, a été déterminante pour mettre en évidence les zones les plus affectées.

Ces diverses données avant-après nous sont également précieuses pour planifier notre stratégie de réarborescence de la ville.

La maquette de reconstruction 3D réalisée par le SITN sur la base des images obliques est désormais utilisée





dans le cadre des travaux de planification d'arborisation post-tempête et des projets de reconstruction de parcs afin de produire et partager des visuels.

■ MétéoSuisse

L'expérience d'utilisation de ces géodonnées a été un atout de taille pour cet événement et le sera pour les événements futurs, qui pourraient être plus fréquents. Ce sont surtout les données « avant-après 2D » qui ont été utiles par :

- leur couverture large, permettant une vue d'ensemble de la région affectée ;
- leur très haute résolution, permettant de visualiser la géométrie des dégâts (déterminante pour identifier la nature des vents, linéaires ou tourbillonnants) ;
- les fonctionnalités de visualisation sur la plateforme du SITN ;
- la plus-value de la couche "différence de hauteur de canopée" qui a permis de cibler les zones aux plus fortes variations après l'évènement.

Conclusion

Lors de situations extrêmes, il advient de cartographier dans les meilleurs délais la situation postévènementielle afin de permettre une gestion de crise optimale, mais également pour documenter les conséquences du phénomène avant que les traces ne soient effacées par les opérations de remise en état. Cela permettra plus tard de mieux comprendre le déroulement des faits. Au vu de la vitesse d'intervention des équipes de secours et de remise en état, la capacité à intervenir et produire rapidement des données cartographiques multiples à l'aide d'un capteur et d'une équipe rodée est un facteur décisif.

À cette catastrophe sont venus s'ajouter des événements en 2024 qui ont nécessité des cartographies d'urgence du même acabit. Les laves torrentielles survenues le 21 juin 2024 dans la vallée du Vénéon (France), dans le massif des Écrins, ont été cartographiées le 28 juin avec le même équipement. Les premières données ont pu être fournies aux services de

RTM (ONF) quatre jours plus tard sur la Bérarde et la totalité des 7 000 ha, cinq jours après. Les glissements de terrain au Misox, en Valais et au Tessin ont également fait l'objet de telles actions d'urgence. Dans ces situations, le service "Rapid Mapping" de Swisstopo, ainsi que la solution combinée à haute résolution présentée dans cet article, se sont avérés complémentaires. L'augmentation de ces événements naturels nécessitera de plus en plus des moyens de cartographie d'urgence, car ils sont essentiels à la gestion de crise.

Grâce à l'expérience acquise lors de cette tempête exceptionnelle, le SITN a pu significativement augmenter son expérience dans la gestion de crise pour faire évoluer ses compétences et son infrastructure en lien avec les nouveaux défis auxquels nous sommes confrontés (depuis 2019, un événement majeur tous les deux ans). Après avoir pu tester plusieurs configurations de vol dans ces contextes de cartographie d'urgence, la solution combinant orthophotos, photos obliques (six caméras) et LiDAR a été particulièrement efficace, chaque produit apportant une plus-value significative. Le retour d'expérience des utilisateurs démontre avec force l'apport de la géomatique dans la gestion de crise. Le SITN tient à saluer l'engagement et les compétences remarquables de nos partenaires de Sixense Helimap, Flai, Swisstopo ainsi que nos utilisateurs qui se sont appropriés les géodonnées et géoservices développés dans un temps record. ●

Contacts

- Marc Riedo**
marc.riedo@ne.ch - Système d'information du Territoire Neuchâtelois
- Julien Vallet**
julien.vallet@helimap.ch - Sixense Helimap SA
- Hugues Fournier**
hugues.fournier@helimap.ch
- David Ulrich**
david.ulrich@helimap.ch
- Gildas Allaz**
gildas.allaz@ne.ch
Service technique de La Chaux-de-Fonds

Références

Voici quelques liens vers les applications pour visualiser les données :

(T240723 : nom de code de la tempête du 24 juillet 2023)



Géoportail simplifié de comparaison d'orthophotos
url : <https://sitn.ne.ch/s/t240723compare>



Géoportail cantonal sur le thème des dangers naturels
url : <https://sitn.ne.ch/s/t240723>



Géoportail 3D LiDAR pour l'évènement
url : <https://sitn.ne.ch/lidar/t240723.html>



Analyse de l'évènement par MétéoSuisse : 24.4.2024
url : <https://sitn.ne.ch/s/meteosuisse>

ABSTRACT

The increasing frequency of extreme weather events calls for effective methods to document and manage such disasters. Using the devastating storm of 24 July 2023 in La Chaux-de-Fonds (Canton of Neuchâtel) as an example, this article highlights the contribution of geomatics to crisis management. In addition to describing the surveying technologies used, which enable rapid, comprehensive and high-resolution mapping, the data collected and the resulting data products and analyses are presented. Emphasis is then placed on feedback from the various user groups and key players in crisis management on how these geospatial data have been used for situational awareness, decision making, response, insurance and recovery. The experience gained has helped to improve the crisis management capabilities of the participating institutions and demonstrates the great value of rapidly available cartographic data in this context.