



# Plan de sauvegarde des spectromètres RMN sur le site de Jussieu en cas de crue majeure de la Seine

Guillaume Laurent

## ► To cite this version:

Guillaume Laurent. Plan de sauvegarde des spectromètres RMN sur le site de Jussieu en cas de crue majeure de la Seine. [Rapport Technique] hal-01516834, UPMC - Paris 6 Sorbonne Universités. 2017, pp.1-8. hal-01516834

**HAL Id: hal-01516834**

**<https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-01516834>**

Submitted on 2 May 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License

# Plan de sauvegarde des spectromètres RMN sur le site de Jussieu en cas de crue majeure de la Seine

## Enjeu

Le site de Jussieu dépend de Sorbonne Universités – Université Pierre et Marie Curie. Il se situe en bordure de la Seine et risque d’être fortement impacté en cas de crue majeure de la Seine. De nombreux instruments de recherche de pointe se trouvent dans cette faculté dont quatorze spectromètres de Résonance Magnétique Nucléaire (RMN), pour un coût total de 7 M€. Deux éléments sont à protéger : l’électronique et le cryoaimant. En effet, la noyade de l’électronique entraînera sa destruction et l’absence de fourniture en fluides cryogéniques engendrerait un coût de 40 k€ par appareil.

## Historique

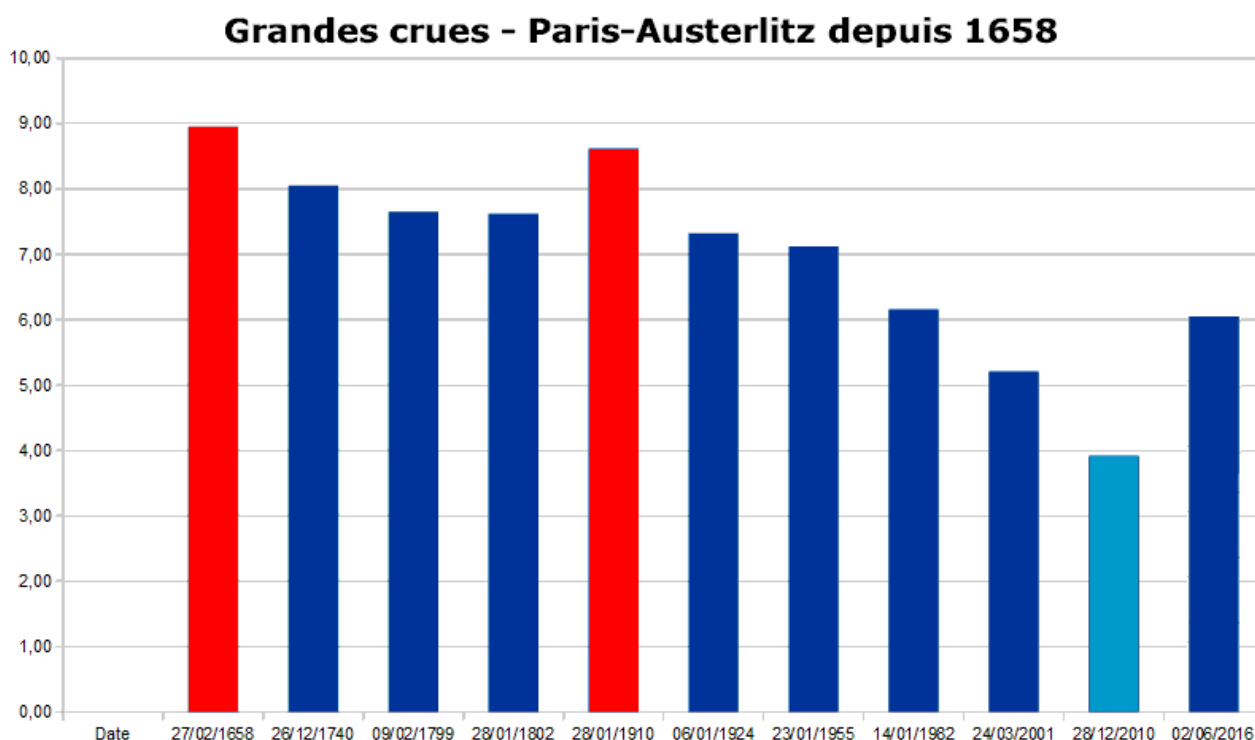


Figure 1: Historique des crues à Paris, d'après [1].

Plusieurs crues importantes de la Seine ont été recensées ces derniers siècles (cf figure 1) [1]. Le niveau le plus élevé du fleuve a été enregistré le 27 février 1658 avec 8,81 m. La zone inondée est représentée sur la figure 2. L’emplacement de Jussieu a été particulièrement touché. La crue de 1910 a également fortement marqué les mémoires avec 8,42 m mesuré le 28 janvier. La troisième plus importante est celle du 26 décembre 1740 avec 7,90 m au pont de la Tournelle [2]. Leurs zones

inondées sont comparées sur la figure 3. Bien que la crue de 1740 fut plus faible que celle de 1910, son impact au niveau de Jussieu fut plus important. D'autres crues moins connues ont eu lieu en 1799, 1802, 1924 et 1955 avec des niveaux allant de 7,12 m à 7,65 m.

Plus récemment, le 4 juin 2016, la Seine a atteint 6,10 m [3]. Qualifiée à tort de majeure, cette crue est à peine équivalente à celle de 1982. Il ne s'agit que d'une crue trentennale. A noter que les grands lacs de la Seine ont permis de minimiser son impact en abaissant le niveau de la Seine de 0,25 m pendant la décrue [4]. Toutefois, leur action a été limitée par la période défavorable de l'année, à laquelle leur remplissage était déjà presque total, en prévision du relargage estival permettant la navigation sur la Seine. Le niveau du fleuve était suffisant pour empêcher la circulation du RER C dans Paris *intra-muros*.

Au vu de l'historique des crues de la Seine, il paraît hautement probable qu'une crue centennale ait lieu dans les prochaines années. Cet événement majeur doit être préparé minutieusement afin d'en limiter les dégâts.

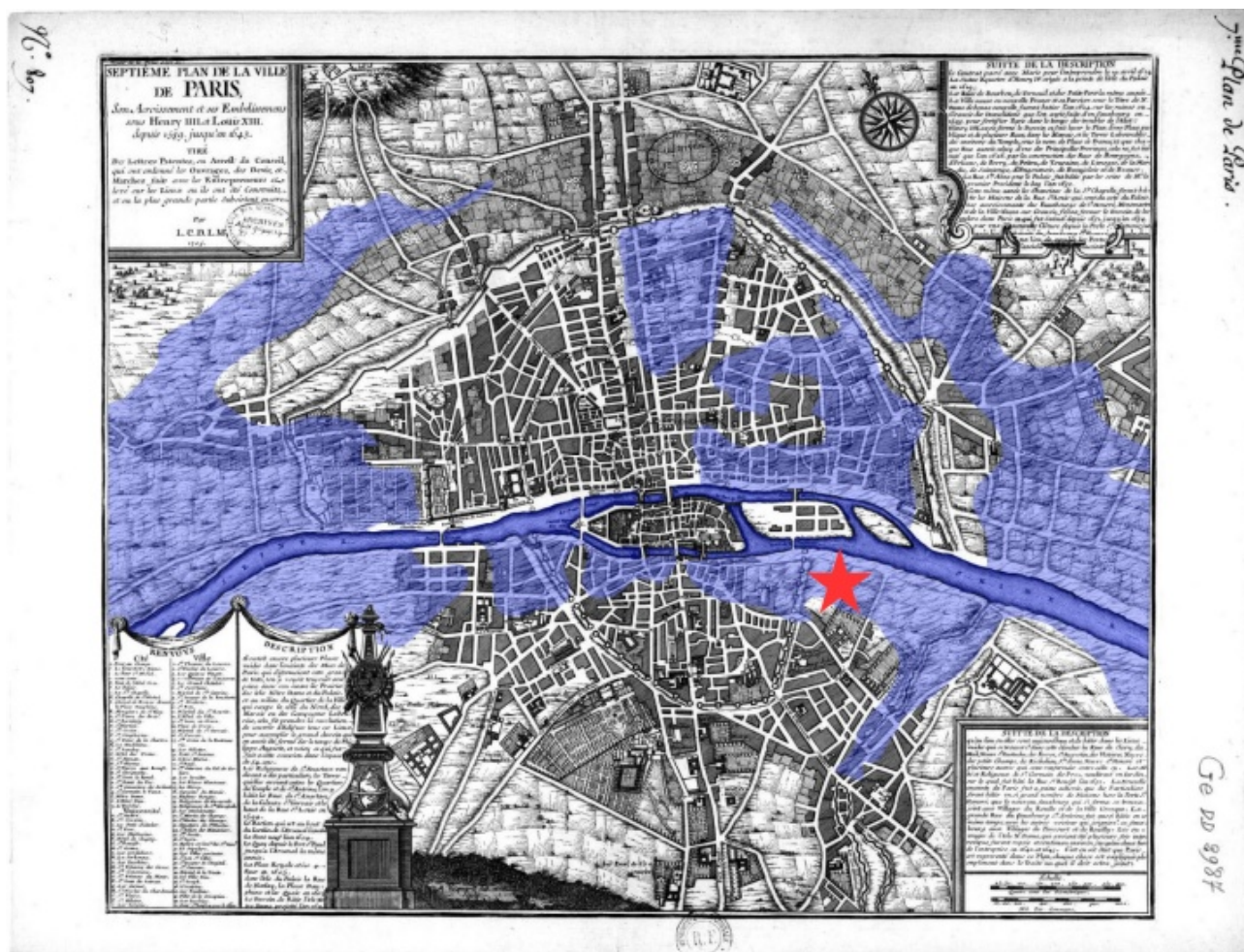


Figure 2: Crue de 1658 à Paris, d'après [8]. L'emplacement de Jussieu est représenté par une étoile rouge.

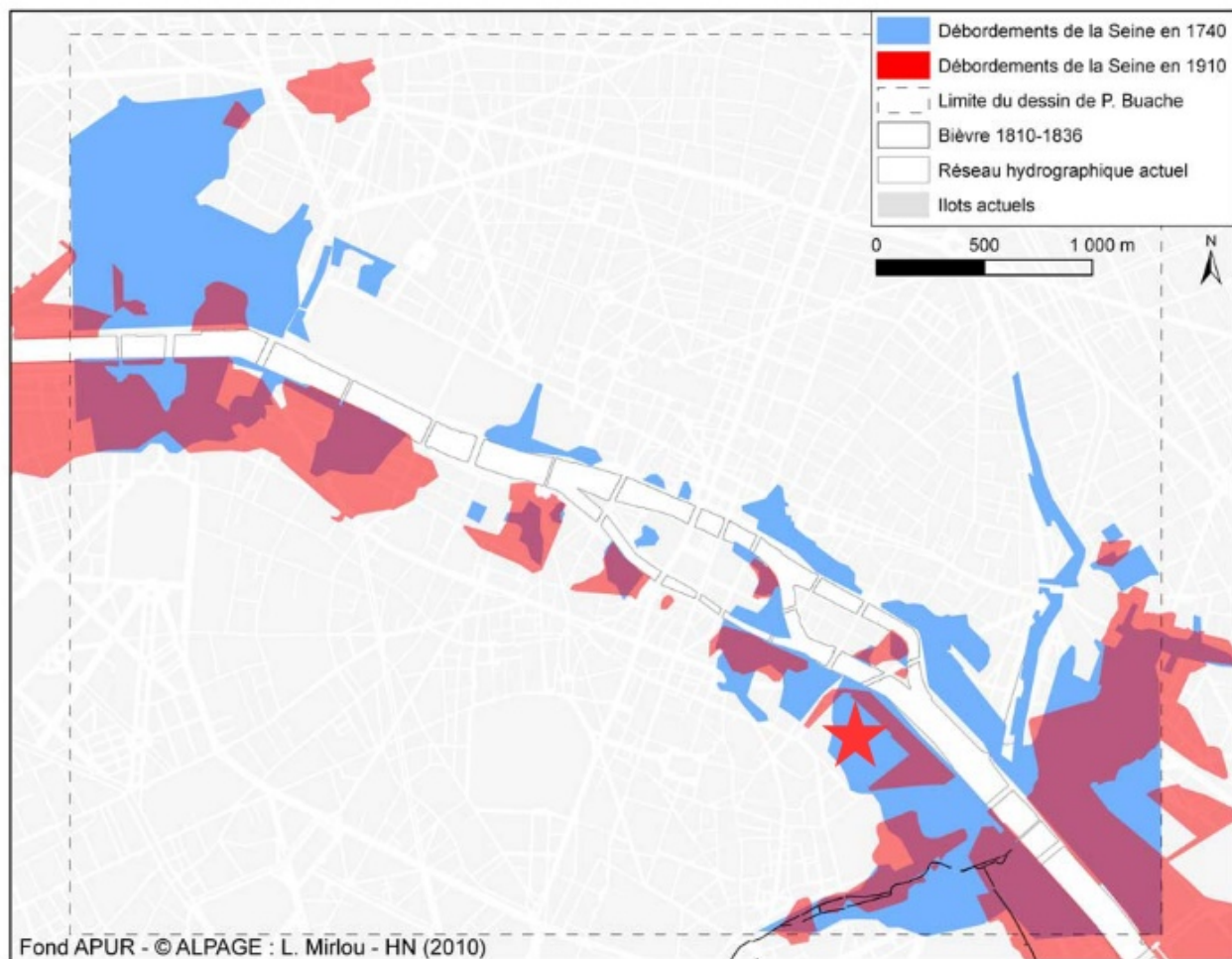


Figure 3: Crues de 1740 (en bleu) et de 1910 (en rose) à Paris, d'après [2]. L'emplacement de Jussieu est représenté par une étoile rouge.

## Mesures et impact du niveau de la Seine

Le niveau de la Seine est mesuré à la station d'Austerlitz, à proximité de Jussieu. Le site internet [vigicrues.gouv.fr](http://vigicrues.gouv.fr) émet deux bulletins d'information journaliers ou plus si besoin. C'est lui qui détermine le niveau d'alerte, vert, jaune, orange ou rouge. Ces niveaux d'alerte sont fonction du risque encouru et non de la hauteur mesurée. Lors de la crue de 2016, la mesure a été sous-estimée car des déchets ont bloqué la sonde [5]. En conséquence, le niveau annoncé par vigicrues a subitement augmenté de 0,30 m, ce qui a entraîné la coupure en catastrophe du RER C *intra-muros*. Afin d'empêcher que cela se reproduise à nouveau, des travaux sont actuellement en cours dans cette station [3].

Une autre mesure couramment utilisée est celle du Zouave du pont de l'Alma (cf figure 4) [6]. Malheureusement, il a été déplacé et abaissé de 30 à 40 cm en 1970 [7], ce qui complique la comparaison des relevés.

On notera l'inondation des sous-sols à partir de 5,50 m, ce qui entraîne également une fragilité du réseau électrique à proximité. Les transports sont affectés à partir de 6,00 m avec l'arrêt de la circulation des RER C dans Paris et la fermeture des voies sur berge.



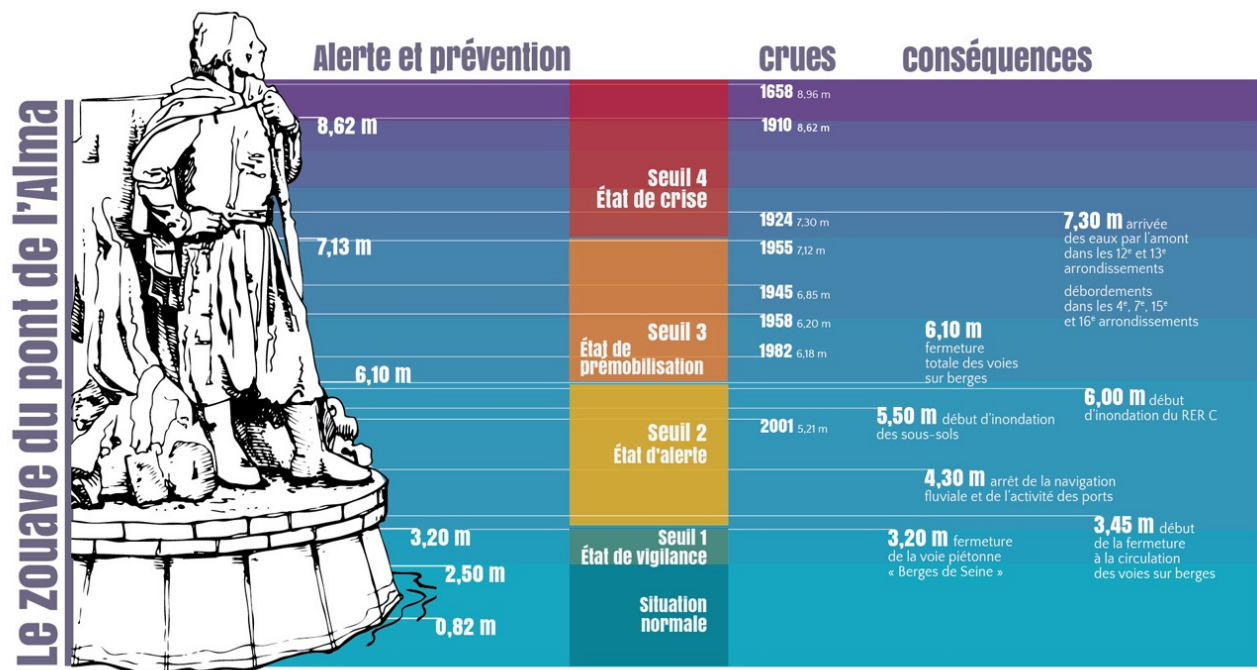


Figure 4: Mesure du niveau de l'eau grâce au Zouave du pont de l'Alma et conséquences de la montée des eaux, d'après [6].

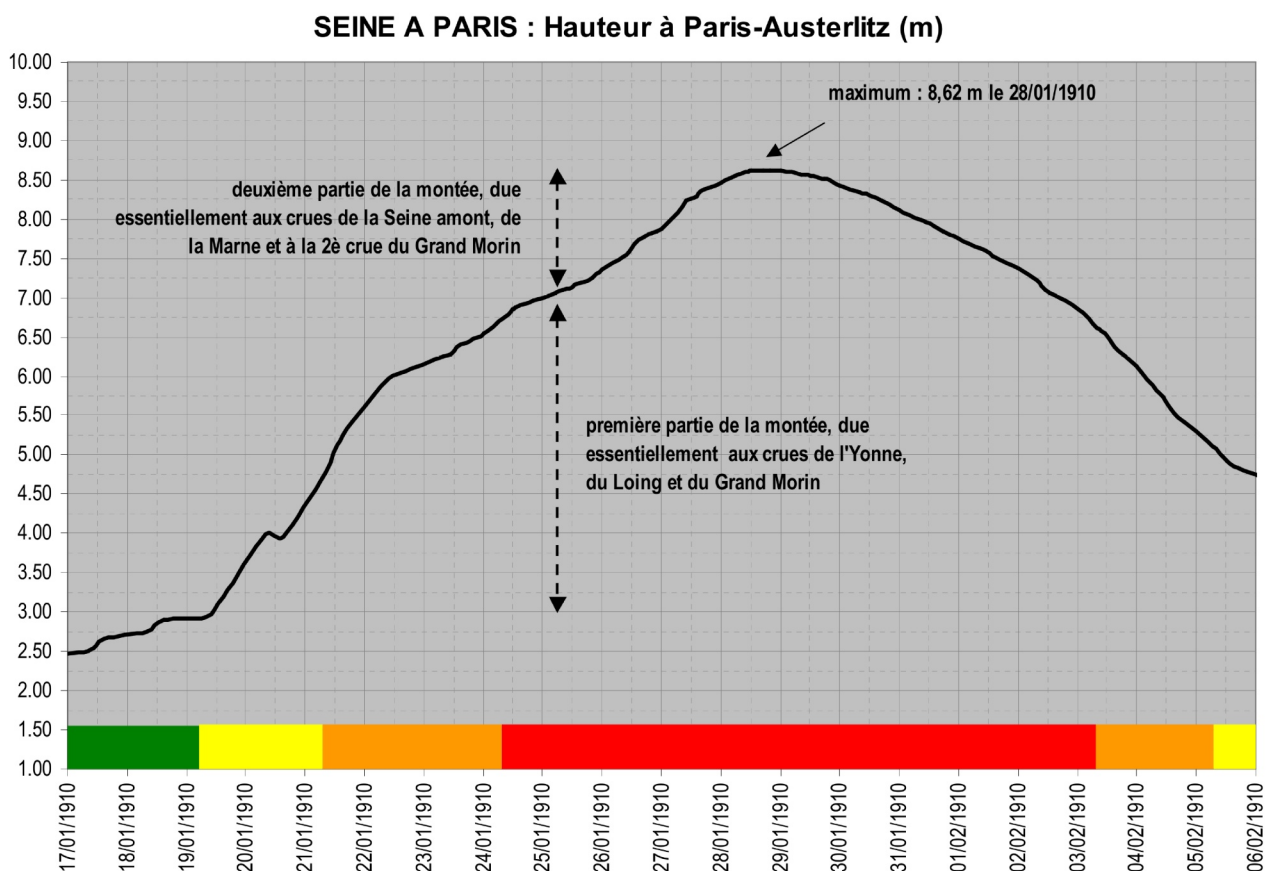


Figure 5: Évolution du niveau de la Seine à Paris en 1910, d'après [9].

En amont de Paris, la montée des eaux peut également avoir un fort impact, comme à Juvisy-sur-Orge pour les RER C et D. Les pluies abondantes peuvent aussi entraîner des éboulements le long des voies. Tout cela complique les déplacements du personnel et la livraison de matériel. Si le niveau rouge est atteint, les routes deviennent difficilement praticables et l'ensemble de la région peut être bloqué. Cette situation pourrait durer 10 jours (cf figure 5).

## Effets d'une inondation sur les RMN

Treize spectromètres RMN sont présents sur le site de Jussieu : neuf au niveau St Bernard, c'est à dire celui de la rue, dont huit dans une grande pièce couloir 32-33 et un dans le couloir 32-42 ; quatre autres sont présents au quatrième étage du couloir 42-43 et un dernier au quatrième étage du couloir 54-00. Chaque appareil est constitué d'une armoire électronique et d'un cryoaimant monté sur pieds (cf figure 6).

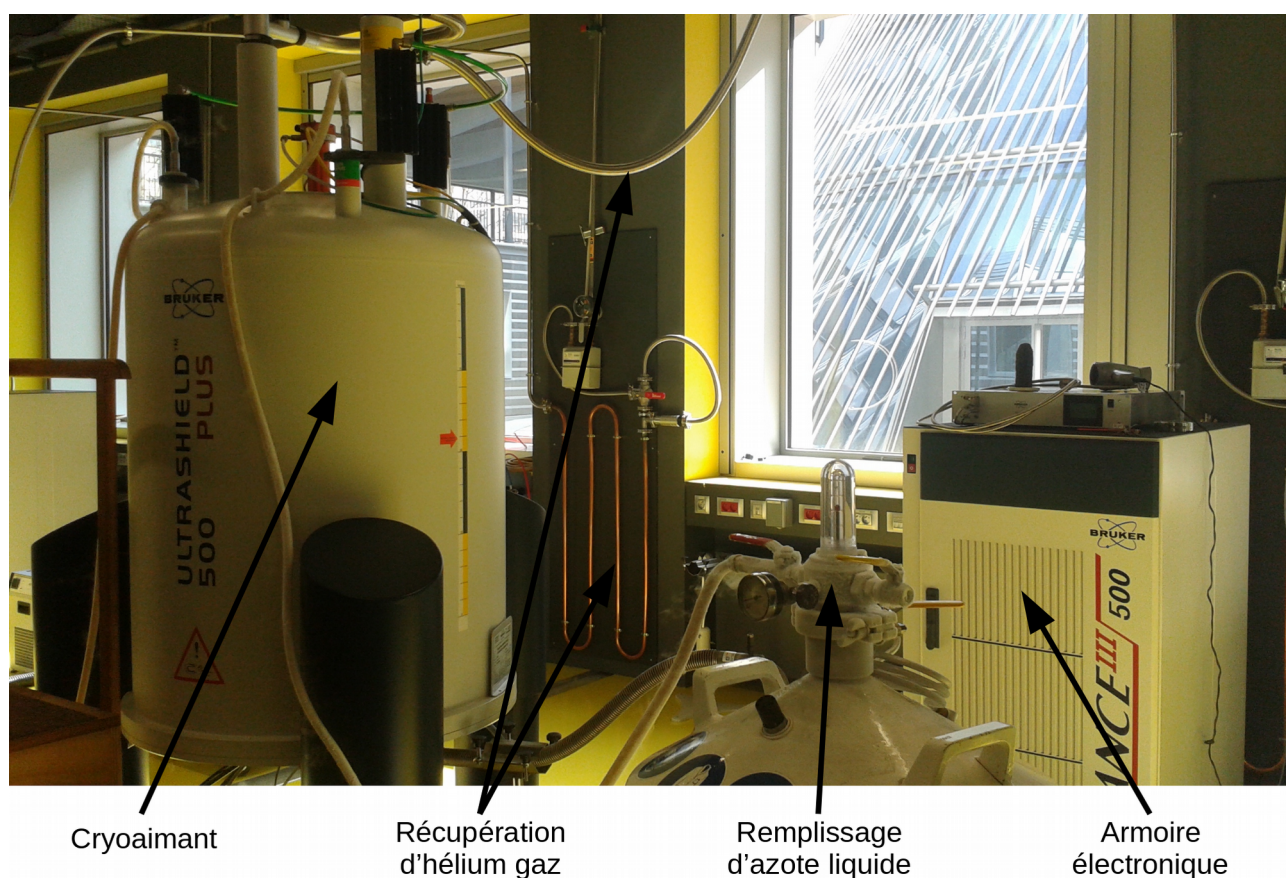


Figure 6: Remplissage d'azote liquide sur un spectromètre RMN.

Tandis qu'une coupure d'électricité ou d'air comprimé anticipées n'entraînerait aucun dommage pour les appareils, une coupure de l'approvisionnement en fluides cryogéniques serait extrêmement dommageable. En effet, le cryoaimant reste actif même en l'absence d'électricité mais nécessite d'être rempli une fois par semaine en azote liquide et une fois par trimestre en hélium liquide.

Si l'aimant venait à se réchauffer, il dissiperait la totalité du courant stocké en son sein d'un seul coup, ce qui peut atteindre 200 ampères. Ce phénomène appelé quench évapore l'ensemble de l'hélium liquide et de l'azote liquide présents dans le cryoaimant, d'où un risque d'asphyxie pour

les personnes à proximité. De plus, il crée de fortes contraintes mécaniques sur l'aimant. Une remise en service coûterait 40 k€ par appareil, en prenant en compte la fourniture des fluides cryogéniques, le pompage du vide et la remise en champ par le fabricant. Cependant, il n'est pas sûr que l'aimant redémarre, ce qui entraînerait des coûts supplémentaires.

L'électronique est quant à elle extrêmement sensible à l'eau qui pourrait l'endommager définitivement. Ce n'est pas le cas des cryoaimants qui sont étanches. Leur poids étant de plusieurs centaines de kilogrammes, ils pourraient au pire bouger légèrement dans l'eau ou être heurtés par des objets flottants. A noter qu'un choc avec un objet métallique conduirait également à un quench. L'électronique étant sur roulette, elle peut être déplacée, même si cela nécessite le débranchement des câbles et tuyaux qui y sont connectés. C'est une opération lourde mais faisable.

En 1910, l'eau a atteint 0,80 m à l'angle de la rue Cuvier et du Quai St Bernard comme en témoigne une marque sur le mur. L'altitude des pièces RMN au niveau St Bernard étant la même, cela impliquerait que le bas des cryostats touche l'eau.

En ce qui concerne les spectromètres au quatrième étage, le principal problème est l'arrêt des monte-charges utilisés pour transporter les réservoirs d'azote liquide afin de remplir les cryoaimants. Il pourrait être envisagé dans un premier temps de stocker plusieurs réservoirs de 50-100 litres à proximité, mais l'azote qu'ils contiennent s'évaporerait en deux semaines environ. S'ils sont vides et que les monte-charges ne sont pas rétablis, la seule solution sera d'utiliser des réservoirs de 10-15 litres transportables par les escaliers, de transvaser leur contenu vers un réservoir de 50 litres auto-pressurisé à col ouvert puis de transvaser à nouveau vers les spectromètres.

## Mesures préventives

Les mesures à appliquer vont dépendre du niveau d'alerte. Aucune mesure n'est nécessaire pour le niveau vert.

### Niveau jaune

- Surveillance journalière des bulletins de vigicrues.

### Niveau orange

- Remplissage préventif en hélium liquide et en azote liquide des RMN.
- Remplissage préventif de l'ensemble des tanks d'azote liquide du campus.
- Surveillance du niveau d'eau dans les cages de monte-charges, en lien avec le service technique. Aucune anomalie n'a été signalée concernant ces équipements lors de la crue de juin 2016.

### 6,50 m

- Arrêt préventif des RMN, du compresseur et de l'onduleur.
- Le compresseur et l'onduleur ne peuvent pas être transportés et totalisent 100 k€. Prévoir un calfeutrage étanche des pièces (rotonde 32 SB et couloir 32-33 niveau -1).

- Débranchement des récupérations d'hélium gaz pour éviter les effets de surpression imprévus.
- Débranchement des armoires électroniques des RMN situées au niveau St Bernard. Déménagement vers les étages supérieurs. A noter qu'il est possible d'utiliser les monte-charges manuellement, moyennant l'intervention de trois techniciens : l'un à l'étage de destination, le deuxième à la manœuvre du frein et le troisième à la manœuvre de l'enroulement du câble.
- Remplissage du tank d'azote liquide du SBT par un petit camion, plus facilement maniable en conditions difficiles.
- Arrêt de la fourniture d'azote liquide par le Service des Basses Températures (SBT) pour les équipements non prioritaires.
- Remplissage de tous les dewars disponibles et stockage à proximité des aimants au quatrième étage, en prévision de la coupure des monte-charges.
- Transport à deux des dewars du SBT vers les RMN au niveau St Bernard. Prévoir des cuissardes.
- Remplissage des aimants en azote liquide par une personne habilitée habitant à proximité, afin d'éviter qu'elle soit bloquée dans les transport. Faire cette opération tous les jours afin de tenir le plus longtemps possible si l'eau continue à monter.

#### Plus de 50 cm d'eau au niveau St Bernard

- Cette situation est réaliste et correspond aux crues majeures. Le niveau pourrait atteindre 80 cm s'il est le même qu'en 1910.
- Le remplissage des aimants en azote liquide sera probablement impossible. Cette situation pourrait durer 6 jours (*cf* figure 5). Les aimants peuvent tenir au moins une semaine sans azote liquide. Si tout l'azote liquide s'est évaporé, l'hélium liquide s'évaporerait rapidement jusqu'au quench.
- Éviter la présence d'objets flottants dans la pièce, particulièrement métalliques, les cryoaimants restant actifs tant qu'ils sont froids.

#### Décrue

- En priorité, réalimenter les cryoaimants en fluides cryogéniques, en commençant par les plus petits qui tiennent moins longtemps.
- Remise en service des monte-charges ou intervention par la société d'entretien pour les manœuvrer manuellement.
- Remise en service de la récupération d'hélium gaz en lien avec le service des basses températures.
- Nettoyage des pièces RMN.
- Retour et rebranchement des armoires électroniques.



- Remise en fonction du compresseur et de l'onduleur.
- Remise en fonction des RMN en lien avec le fabriquant.

## Conclusion

Une crue majeure de la Seine est un événement hautement probable qu'il est nécessaire d'anticiper afin de limiter son impact sur les spectromètres RMN, qui sont des instruments de recherche très coûteux. Les points essentiels de ce plan de sauvegarde sont une bonne coordination avec le service des basses températures et un accès aux monte-charges pour évacuer les armoires électroniques. Si le fleuve atteint le niveau d'alerte rouge, cela compliquera considérablement les déplacements des personnels nécessaires pour effectuer les remplissages indispensables en azote liquide. Toutefois, il semble que la décrue soit suffisamment rapide pour assurer la sauvegarde des cryostats.

G. LAURENT  
Ingénieur d'Études CNRS  
16 mars 2017

- [1] 'Vigicrues – historique crue 4 juin 2016', *Les Riverains de la rue Saint-Georges Maisons-Alfort*, 06-Jun-2016. [Online]. Available: <http://rsg.fleurons.fr/vigilance-crue-maisons-alfort/vigicrues/>. [Accessed: 12-Mar-2017].
- [2] H. Noizet, S. Robert, and L. Mirlou, 'Cartographie des crues centennales à Paris (1740, 1910)', *Rev. Nord*, vol. 26, pp. 91–104, 2011.
- [3] 'Épisodes de crue de mai-juin 2016 sur le bassin de la Seine', DRIEE Île-de-France - Service de la prévention des risques et des nuisances - Pôle hydrologie et prévision des crues, Oct. 2016.
- [4] 'Bilan de la Crue de juin 2016', EPTB Seine Grands Lacs, Jul. 2016.
- [5] 'Inondations: pourquoi le niveau de la Seine a-t-il été sous-estimé à Paris?', *LExpress.fr*, 04-Jun-2016. [Online]. Available: [http://www.lexpress.fr/actualite/societe/meteo/inondations-pourquoi-le-niveau-de-la-seine-a-t-il-ete-sous-estime-a-paris\\_1798981.html](http://www.lexpress.fr/actualite/societe/meteo/inondations-pourquoi-le-niveau-de-la-seine-a-t-il-ete-sous-estime-a-paris_1798981.html). [Accessed: 12-Mar-2017].
- [6] 'La Grande Inondation', *Water-Words*. [Online]. Available: <http://www.water-words.net/la-grande-inondation>. [Accessed: 12-Mar-2017].
- [7] P. Breteau and A. Sénécat, 'Les drôles de mesures de crues sur le zouave du pont de l'Alma', *Le Monde.fr*, 03-Jun-2016.
- [8] 'La crue de la Seine, Plans, Photographies, Films', *Netfis*, 2016. [Online]. Available: <http://www.neftis.eu/NeftisWeb/Documents.htm>. [Accessed: 12-Mar-2017].
- [9] 'Synthèse de la crue de janvier 1910 sur le bassin de la Seine', DRIEE Île-de-France - Service de prévision des crues Seine moyenne / Yonne / Loing, Sep. 2010.