

LES INONDATIONS DUES AUX CRUES

Les inondations constituent un risque majeur sur le territoire national, mais également dans le monde entier (environ 20 000 morts par an). En raison de pressions économiques, sociales, foncières ou encore politiques, les cours d'eau ont souvent été aménagés, couverts ou déviés.

I Typologie

Définition : Une crue est une augmentation de la quantité d'eau (le débit) qui s'écoule dans la rivière. Le débit d'un cours d'eau en un point donné est la quantité d'eau (en m³) passant en ce point par seconde ; il s'exprime en m³/s.

Les inondations résultent d'un certain nombre de conditions météorologiques avec une origine, des caractéristiques et une durée différentes. On en distingue 2 grands types :

1-Les inondations fluviales ou phréatiques

Elles sont de 2 natures :

- **Lentes** : Les eaux pluviales stagnent et ne s'évacuent pas (**Figure 1**) ;

-**Brutales (crue-éclair)** Ces crues éclair sont brèves et très localisées. Elles sont généralement dues à des pluies orageuses courtes mais intenses, qui ne parviennent pas à se disperser par infiltration, ruissellement ou écoulement. La cause la plus fréquente de ces inondations est un orage qui se déplace lentement et peut déverser d'énormes quantités d'eau sur une zone limitée en très peu de temps (Les orages qui se déplacent plus rapidement sont moins gênants à cet égard, car ils donnent de la pluie sur une zone plus étendue) si le vent maintient l'orage stationnaire. En montagne, l'eau peut ruisseler sur les pentes et descendre jusqu'au fond de la vallée. Les gorges sont comme des entonnoirs qui accélèrent le débit de l'eau. (**Figure 2**)

Elles sont la conséquence de 2 mécanismes :

Par débordement direct : Une inondation peut avoir lieu quand une rivière déborde. Le cours d'eau sort de son lit mineur pour occuper son lit majeur, alors il envahit des vallées entières.

-**Lit mineur** : secteur compris entre les deux berges, dans lequel s'écoule la rivière en régime normal.

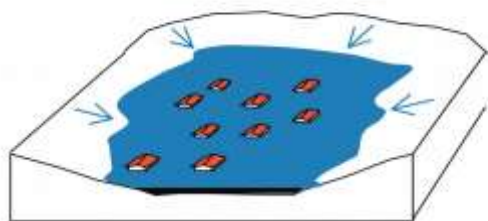
-**Lit majeur** : secteur occupé par la rivière au moment d'une crue, aujourd'hui ou dans les temps historiques. (**Figure 3**)

Par débordement indirect : Les eaux remontent dans à travers les nappes alluviales, dans les réseaux d'assainissement et dans des points bas localisés... (**Figure 4**)

Par accumulation d'eau ruisselée : Lorsqu'il y a une capacité insuffisante d'infiltration, d'évacuation des sols ou du réseau de drainage lors de pluies anormales. Ces inondations peuvent se produire en zone urbanisée, en dehors du lit des cours d'eau proprement dit. L'imperméabilisation des sols et la conception de l'urbanisation et des réseaux d'assainissement font obstacle à l'écoulement normal des pluies intenses. Ce phénomène est appelé embâcle. (**Figure 5**)

2-Les inondations marines

Elles peuvent être dues à un tsunami (cause non climatique ici), une rupture de digue ou d'écluse, ou à des conditions météorologiques exceptionnelles (exemple : tempête venant de la mer combinée à une dépression importante et une grande marée comme ce fut le cas avec la tempête Xynthia en 2010). (**Figure 6**)



Inondation par stagnation des eaux pluviales dans une zone plane

1



Inondation par concentration du ruissellement dans une ravine

2

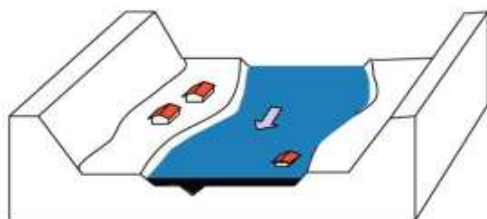


Lit majeur



Lit mineur

3



Inondation par débordement du lit mineur d'un cours d'eau



Inondation par remontée de nappe phréatique

4



5

Inondation par ruissellement urbain ou embâcle



Inondation marine

6

II Les inondations dues aux crues en France

1-Les causes

- Souvent les trois zones des cours d'eau (le lit mineur, le lit moyen et le lit majeur) sont transformées par l'activité humaine ou par les changements climatiques. Ainsi avec un sol plus propice au ruissellement il y a une diminution de la perméabilité de l'ensemble du bassin dû aux déboisements, aux incendies de forêts, aux multiplications de surfaces revêtues (routes, maisons,...) et rend alors les crues beaucoup plus brutales.

Notion d'aléa, enjeu et risque majeur : Un **aléa** est la manifestation d'un phénomène naturel ou causé par l'homme de fréquence ou d'intensité donnée. Un **enjeu** est un ensemble de biens ou de personnes susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel ou causé par l'homme. Le **risque majeur** est le résultat de la superposition de l'aléa et des enjeux sur un même lieu.

(Figure 7)

- La répartition et l'intensité des précipitations dans le bassin versant (qui est le lieu où les rivières collectent l'eau d'un territoire plus ou moins grand) et la durée des précipitations.

- En Europe à la fin du printemps et au début de l'été lors du redoux, des canicules ou du föehn, la fusion brutale des neiges est fréquente et accentue le risque.

- Au printemps, la rupture des glaces des fleuves en haute montagne (Alpes, Pyrénées), ou dans les pays de hautes latitudes comme le Canada qui sont des barrages quand ils gèlent en hiver peuvent aussi provoquer des inondations.

- Les orages violents d'été voir du printemps qui entraînent des pluies violentes.

- En automne les précipitations orageuses, surtout sur la façade méditerranéenne ont des effets qui peuvent se faire sentir dans toute la moitié sud du pays.

- Dans le nord et l'ouest de la France les pluies océaniques occasionnent des crues surtout en hiver et au printemps.

- L'importance de l'absorption par le sol et l'infiltration dans le sous-sol qui alimente les nappes souterraines a des effets sur les inondations. Un sol saturé par des précipitations récentes n'absorbe plus, ce qui pourrait provoquer des inondations lors des autres précipitations.

En France, les inondations sont sans conteste l'aléa naturel le plus récurrent. 5 à 7 % du territoire français est susceptible d'être inondé, soit environ 10% de la population. Sur les 160.000 km de cours d'eau qui coulent en France, il y a une surface de 22.000 km² qui serait particulièrement reconnue inondable, répartis sur 7.600 communes soit 2.000.000 de riverains seraient concernés. (Figure 8)

Dans un pays développé comme la France, la société et l'économie sont fondées sur les échanges et les mobilités, et sont donc particulièrement vulnérables aux aléas naturels. À Paris, une crue centennale, comparable à celle de 1910, provoquerait non seulement des dégâts considérables, mais surtout paralyserait l'Ile-de-France durant de longs mois en endommageant tous les circuits électriques et électroniques enfouis, sans lesquels les communications (métro, RER, etc.) ne sont pas possibles.

Il faudrait attendre la décrue pour commencer une remise en état qui nécessiterait des investissements considérables. C'est en quelque sorte le revers de la modernité. En France, et dans les pays riches en général, la vulnérabilité ne repose donc pas tant sur le nombre de morts potentiels que provoquerait un aléa naturel, mais plutôt sur les conséquences désastreuses pour les communications, ainsi que sur les

implications financières d'une catastrophe majeure (remise en état des bâtiments, des réseaux, coût de l'arrêt de l'activité économique, désorganisation des services de l'État...).



Schéma de l'aléa avant construction



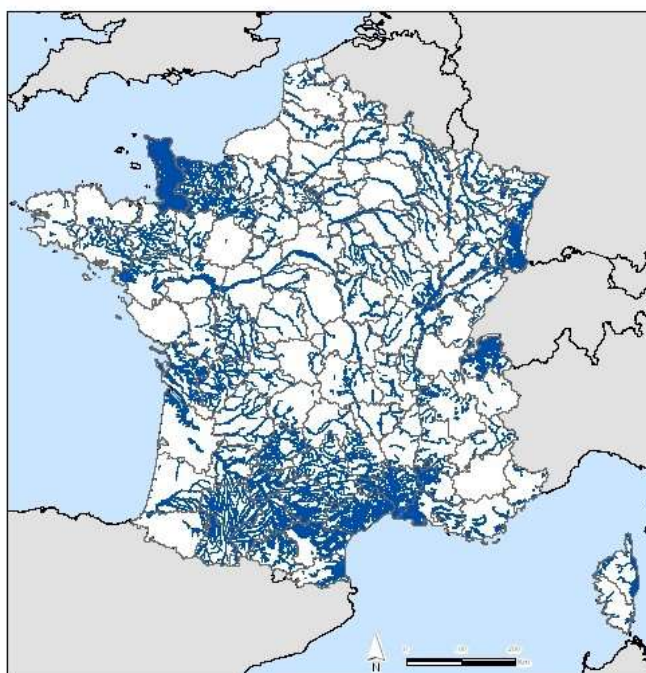
Schéma de l'enjeu



Schéma du risque pour
la zone d'activité et le lotissement

7

Les zones inondables en France métropolitaine



8

La vulnérabilité aux aléas naturels a été renforcée au cours du XXe siècle en liaison avec certaines dynamiques spatiales et avec la réalisation de certains aménagements. La croissance urbaine et péri-urbaine durant la seconde moitié du siècle s'est largement effectuée dans des secteurs à risques, soit dans des espaces inondables, soit en montagne (développement des stations de ski) et sur des littoraux abrupts soumis à des mouvements de terrain.

Il est frappant de constater qu'en octobre 2000, un survol du Nord-Pas-de-Calais montrait que les secteurs inondés incluaient fréquemment les lotissements et les zones d'activités récentes, alors que les quartiers anciens étaient davantage épargnés. L'urbanisation récente a donc eu une double conséquence : une exposition directe aux risques dans des lits majeurs, et plus généralement un accroissement de l'aléa inondation dans la mesure où l'imperméabilisation des surfaces favorise une concentration rapide des eaux de ruissellement dans les talwegs.

Le développement de l'urbanisation dans les secteurs à risque est évidemment explicable par la disponibilité et le moindre coût des terrains. Cela concerne non seulement les particuliers désireux d'accéder à la propriété individuelle, mais implique aussi la responsabilité des collectivités territoriales, peu regardantes sur l'attribution des permis de construire.

Plus surprenant, l'État a réalisé de grands travaux d'aménagement dans des secteurs à risques. À Paris, le ministère des Finances (Bercy), ou l'Hôpital G. Pompidou, ont été construits en zone inondable. Citons aussi l'exemple dramatiquement comique de la caserne des pompiers d'Arles, construite en zone inondable, et par conséquent non opérationnelle en cas d'inondations importantes !

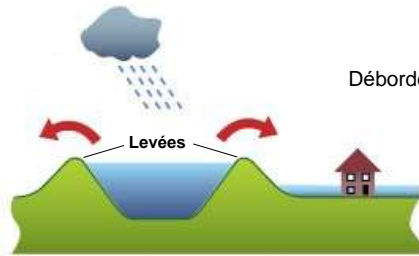
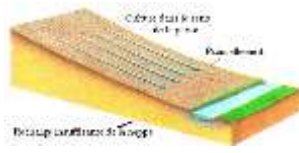
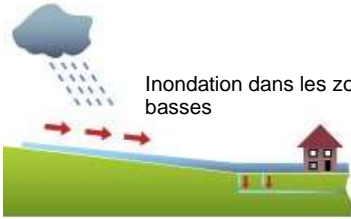
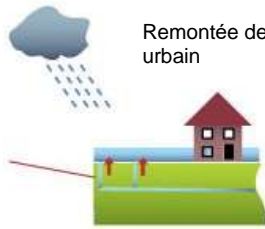
Dans les espaces ruraux, les opérations de restructuration agraires (remembrement, simplification du parcellaire, arrachage des haies) ont eu pour effet d'augmenter la fréquence et la violence des crues. La débocagisation, qui a touché de façon spectaculaire les campagnes de l'ouest après la seconde guerre mondiale, a conduit à l'arrachage des haies qui limitaient le ruissellement et facilitaient l'infiltration des eaux pluviales.

En l'absence de haies perpendiculaires à la pente, le ruissellement est favorisé. L'eau dévale les versants pour finir sa course dans la rivière en contrebas. Le rechargement des nappes ne se fait pas correctement et les risques de crues et d'inondations s'en trouvent augmentés.

2-Les solutions

Il existe plusieurs types d'aménagements pour limiter les effets des inondations. Certains sont très anciens (digues, levées), d'autre font appel à la haute technologie (protection contre les entrées marines). Chaque aménagement doit être adapté aux risques. **(Figure 9) :**

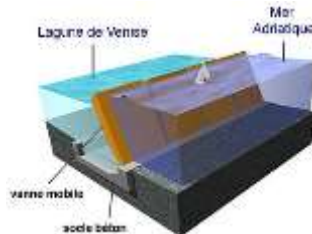
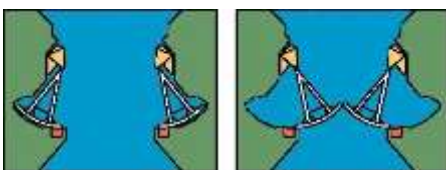
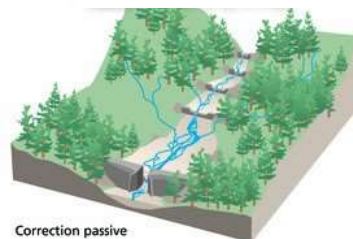
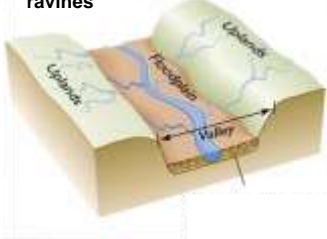
- Remontée de nappe en milieu urbain
- Inondation dans les zones basses
- Débordement du lit
- Aménagement des ravines
- Entrée d'eau marine



Débordement du lit Création naturelle des levées



Aménagement des ravines



Venise

Londres

3-Les crues historiques en France (Figure 10)

1840 : L'été 1840 avait été plutôt sec. Des pluies océaniques tombèrent à partir du 19 octobre et élevèrent peu à peu le plan d'eau, tout en saturant le sol. Elles s'intensifièrent progressivement sur la partie occidentale du bassin jusqu'à la fin du mois et provoquèrent le débordement de la **Saône** sur le haut bassin (Gray, Auxonne) où elle ne fit que peu de dégâts.

Dans la journée du 27 octobre, le baromètre se mit à baisser et un vent violent et chaud du sud se mit à souffler dans toute la **vallée du Rhône** jusqu'au nord de Lyon annonçant une pluie méditerranéenne. Celle-ci commença dans la nuit du 27 au 28, et redoubla dans la nuit du 29 au 30 octobre. Ces deux épisodes particulièrement violents (plus de 150 mm en tout), entraînèrent des crues des affluents aval : la Seille, la Reyssouze, la Veyle, la Chalaronne et l'Azergues. Ces crues contribuèrent, avec la crue générale de la Petite Saône, et du Doubs (à partir de Besançon) à provoquer la première série de crues qui inonda la plaine de la Saône à l'aval de Chalon

9-13 septembre 1875 : Les inondations de septembre 1875 ont touché toute la partie de la France comprise entre le **bassin de la Loire** inclusivement, **les Pyrénées et le littoral de la Méditerranée** avec un bilan entre 200 et 400 morts.

Pour les derniers 100ans :

À l'exception notable de la rupture du **barrage de Fréjus**, qui causa la mort de 423 personnes en 1959, la plupart des grandes inondations en France ont été dues à de fortes intempéries faisant déborder fleuves et rivières

En janvier 1910, de fortes précipitations qui durent plusieurs mois font déborder la **Seine**. Paris se retrouve envahie par les eaux et près de 20 000 immeubles sont inondés. Cette crue est la plus importante du XXe siècle. Le niveau d'eau à la station de Paris-Austerlitz a atteint 8,62 m, soit pratiquement huit mètres de plus que le niveau normal. Deux cent mille personnes sont frappées, 473 hectares inondés, et 15 % des immeubles parisiens inondés. Les dégâts matériels sont importants mais les pertes humaines heureusement rares.

Le 3 mars 1930, Les **vallées de l'Orb, de l'Aude et du Tarn** sont victimes d'inondations sans précédent. La ville de Moissac est entièrement détruite et une partie de Montauban, dévastée. Le président de la République Paul Doumergue annoncera le 7 mars une aide d'urgence de un milliard de francs. La décrue sera complète le 24. Bilan définitif : un millier de morts.

En 1940, de violentes précipitations font déborder plusieurs cours d'eau et inondent les **Pyrénées Orientales**, faisant 48 victimes.

Le 14 juillet 1987, de violents orages entraînent le débordement du **Borne** dans les Alpes, causant la mort de 23 personnes au Grand-Bornand.

Dans la nuit du 2 au 3 octobre 1988, des pluies diluviennes s'abattent sur la ville de **Nîmes**. Les inondations qui s'ensuivent font 11 morts.

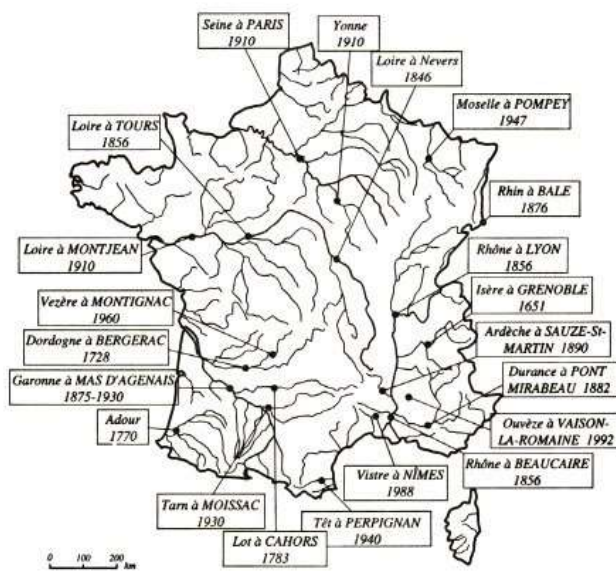
Le 22 septembre 1992, l'**Ouvèze** déborde et inonde la ville de Vaison-la-Romaine (Vaucluse), où plus de 30 personnes trouvent la mort.

En novembre 1999, plusieurs fleuves du **midi méditerranéen** débordent. Les inondations font 26 morts.

Dans la nuit du 8 au 9 septembre 2002, des pluies violentes s'abattent sur les **départements du Gard, de l'Hérault et du Vaucluse**. 23 personnes trouvent la mort.

En décembre 2003, Arles et les villages alentour se retrouvent sous les eaux en raison de fortes pluies et d'un débit du Rhône très élevé. Plus de 20 000 personnes sont sinistrées.

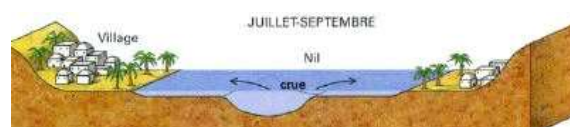
Entre 1998 et 2008, plus d'une centaine de grandes inondations ont eu lieu en **Europe**, entraînant la mort de 700 personnes et le déplacement de plus d'un demi-million de personnes.



Source : ministère de l'Environnement

10

Akhet : "l'inondation" (du 16/07 au 14/11)



Péret : "la sortie", la germination (du 15/11 au 18/04)



Chémou : "chaleur", la saison des récoltes (19/04 au 11/07)



11

II Les inondations dues aux crues dans le monde

Les inondations, notamment dans les pays pauvres, font souvent beaucoup de victimes et de dégât matériels. Elles sont responsables de 40 % des accidents mortels dus aux catastrophes naturelles dans le monde.

Mais, dans certaines régions du globe, les inondations font partie du cycle naturel des saisons. Durant plus de deux millénaires, les crues du Nil ont fait prospérer la civilisation égyptienne et de nombreuses zones tropicales sont encore tributaires des crues annuelles et des moussons qui fertilisent et irriguent les cultures, en reconstituant des réserves d'eau pour la saison sèche.

(Figure 11)

Elles peuvent avoir de nombreuses causes cumulables :

-Des causes naturelles dues aux phénomènes météorologiques **attendus** (par exemple la mousson en Inde, au Bangladesh et dans d'autres pays qui entraînent de fortes précipitations.)

-Des causes naturelles dues aux phénomènes météorologiques **inattendus localisés** par exemple les fortes précipitations dues aux tempêtes ou aux cyclones provoquant des crues subites, des coulées de boue, et des inondations. Ils sont souvent suivis des ondes ou marées de tempête.

-Des causes naturelles dues aux phénomènes météorologiques **inattendus à grande échelle**, par exemple lors du phénomène El Niño ou La Niña, avec une augmentation des précipitations dans certains pays ce qui cause des inondations voir des moussons plus importantes.

-Des causes dues à un événement naturel (glissement de terrain, éboulement, etc.) qui empêchent l'écoulement habituel de l'eau

-Des barrages permettant certes la navigation et le transport fluvial, mais diminuant la pente naturelle du cours d'eau. L'absence de gestion et de coordination des barrages à l'approche des crues peut entraîner des conséquences graves. Pour la même raison et avec les mêmes effets, dans le cas d'écluses avec la retenue importante du dernier bief avant évacuation vers la mer. (Cas de la Seine à Amfreville sous les Monts lors de l'inondation de mars et avril).

-Des causes anthropiques directes : le drainage, l'irrigation, l'imperméabilisation et la dégradation des sols, certaines pratiques agricoles intensives peuvent accélérer le ruissellement de l'eau et en limiter l'absorption par les sols.

-Des causes humaines indirectes liées aux modifications climatiques globales (émissions de gaz à effet de serre qui entraînent la fonte des glaciers et dilatation des océans) provoquant une montée du niveau des océans et par ricochet des cours d'eau, ou encore une intensification des cyclones.

Les records

Dans ces différents cas, il convient de noter que tous les morts ne sont pas dus à la crue initiale. Les maladies et la famine qui ont suivi la catastrophe ont probablement tué plus que la crue elle-même.

Les inondations catastrophiques dues principalement aux cyclones ou aux tsunamis ont été exclus de cette liste.

1. Huang He (fleuve Jaune), Chine : **1931** 1.000.000 à 3.700.000 morts

Le fleuve Huang He est sujet aux inondations en raison de la vaste étendue de plaine qui se trouve autour. Une des principales raisons des inondations est la teneur très élevée en limon (jusqu'à 500 kg par m³) qui donne à la rivière, sa teinte jaune (et donc son nom) : en effet le limon se dépose au fond du lit et sur les côtés en formant des levées. Le fleuve est donc plus élevé (parfois à près de 10m au dessus) que les plaines environnantes surpeuplées. La tendance à la crue est exacerbée par les barrages de glace qui bloquent la rivière en Mongolie. Ces barrages retiennent l'eau, puis la relâchent quand ils cassent en murs d'eau dévastateurs.

La série d'inondations dues au Huang He a poussé le gouvernement communiste chinois à se lancer dans un programme de construction de barrages et de digues. Ces barrages, cependant, n'ont pas prouvé totalement leur efficacité et ont été très critiqués par les écologistes. De plus c'est un des fleuves les plus pollués au monde.

2. Huang He (fleuve Jaune), Chine : **1887** 900.000 à 2.000.000 morts

3. Huang He (fleuve Jaune), Chine : **1938** 500 000 – 900 000 morts

La crue de 1938 du Huang He a été causée par les troupes nationalistes chinoises sous Tchang Kaï-chek quand ils ont cassé les digues pour tenter de retenir l'avancée des troupes japonaises. La stratégie a été partiellement couronnée de succès. En 1940, les Japonais et les forces chinoises étaient dans une impasse.

4. Huang He (fleuve Jaune), Chine : **1642** 300 000 morts

Les rebelles chinois ont détruit les digues le long de la ville de Kaifeng, provoquant les inondations de la campagne environnante.

5. Rivière Ru, barrage de Banqiao, Chine : **1975** 230 000 morts

Cette inondation a été causée par l'effondrement du barrage de Banqiao, ainsi que plusieurs autres, après une forte pluie. C'est la rupture la plus meurtrière d'un barrage dans l'histoire.

6. Le fleuve Yangtsé, Chine : **1931** 145 000 morts

Bien que le Huang He ait causé plus de morts, le Yangtsé a eu plus de 1.000 inondations enregistrées.

7. Les Pays-Bas et l'Angleterre : **1099** 100 000 morts

Une combinaison de marées hautes et les tempêtes ont inondé le Tamise et les Pays-Bas.

8. Les Pays-Bas : **1287** 50 000 morts

Une digue sur le Zuiderzee s'est effondrée, provoquant l'inondation des polders.

9. La Neva, Russie : **1824** 10 000 morts

Un barrage de glace a bouché la Neva, provoquant l'inondation des villes voisines.

10. Les Pays-Bas : **1421** 10 000 morts

La défaillance d'une digue sur le Zuiderzee a inondé les basses terres néerlandaises.

Les plus gros débits de crue mesurés :

L'Indus, Pakistan, 1841, 540 000 m³/s, rupture d'un verrou du à un glissement de terrain. (débit moyen entre 900 et 13 000)

L'amazone, Brésil, 1953, 370 000 m³/s, due aux pluies. (débit moyen entre 124 000 et 276 000)

Le plus gros débit de crue connu :

Sur le Kuray dans l'Altaï, en Russie à la fin Pléistocène (à peu près 20 000 ans) : 18 million m³/s. Rupture d'un barrage de glace.

Inondations récentes en France

- 228 litres d'eau en 6 heures le 03.10.1988 à Nîmes (Gard). 45 000 sinistrés. 1 milliards d'euros de dégâts.

- Déluge à Vaison-la-Romaine (Vaucluse) le 22.09.1992. Crue de l'Ouvèze. 36 morts et 6 disparus ; 160 habitations et 34 commerces détruits ; 2 657 habitations et 114 commerces gravement endommagés.

Records de précipitations en France :

Plus forte pluie en 24 h : 840 mm à Llau (Pyrénées-Orientales) le 18.10.1940

Plus forte hauteur des précipitations (en 1 an) : 4 017 mm au Mont Aigoual (Gard) en 1913

Le plus gros grêlon : 972 grammes à Strasbourg (Bas-Rhin) le 11.08.1958.