

EROSION - TRANSPORT SOLIDE IMPACT SUR LES INONDATIONS TORRENTIELLES

Cours de Perfectionnement pour la Protection Civile

EUROMED: Vibo Valentia (Italie) du 25-30 Juin 2000.

Animé et actualisé par Dr Bénina Touaïbia

ENSH-Blida

Introduction

Comme tous les pays d'Afrique du Nord, l'Algérie de part son climat agressif, est confrontée aux inondations torrentielles dont la cause principale est la pluie torrentielle ou plus précisément la pluie de courte durée appelée communément AVERSE. Quelle soit généralisée ou localisée, ces pluies de courte durée, souvent diluviennes peuvent créer des dégâts incontestables.

Classées parmi les catastrophes naturelles, ces inondations torrentielles sont souvent imprévisibles et inattendues aussi bien dans l'espace que dans le temps.

En Algérie, plusieurs régions, de par leur topographie, sont menacées par ces catastrophes hydrologiques aussi bien au Nord qu'au Sud (Sahara).

Les perturbations atmosphériques, créées aussi bien par les vents du Sud (Sirocco : vent chaud et sec) que par les vents du Nord (vent froid et humide de la mer Méditerranée), sans oublier les vents d'Ouest très fréquents (vent chaud et humide) font que dans la même journée, nous pouvons observer une variation brutale du temps. Ceci reste très fréquent au printemps.

L'irrégularité spatiale et temporelle de l'averse rend la tâche très difficile à l'hydrologue. Son observation liée à une intuition très développée permet de détecter l'approche de l'averse, le déclenchement des pluies et les risques d'inondabilité; que malheureusement, souvent l'urbanisation anarchique, la non régularisation des cours d'eau et l'absence de voies d'évacuation des eaux pluviales font de ces pluies diluviennes des catastrophes naturelles destructives qu'il devient impossible de les arrêter.

Avant de rentrer dans le détail de ce cours, il serait important de connaître les causes et les conséquences pour une meilleure compréhension du phénomène des inondations torrentielles.

Aussi, il est impossible de parler d'inondations sans approcher le phénomène de l'érosion et du transport solide. Une grande part de responsabilité des désastres commis par les inondations incombe au transport solide qui confère à l'écoulement de surface une force et une puissance destructives sans précédent.

1. Causes

Tout d'abord, ces inondations torrentielles peuvent se produire selon 2 aspects bien distincts. Elles sont causées par :

- soit un débordement des cours d'eau suite à des averses généralisées sur des Kilomètres carré (Km²) de surface et qui peuvent durer plusieurs jours : le sol étant saturé d'eau tout ce qui précipite s'écoule et déverse à l'aval des bassins versants (ceci provient surtout en saison humide).
- soit à un ruissellement important localisé suite à des averses localisées, provoquées par une perturbation météorologique (ex :orage), ceci provient en saison sèche.

Quels que soit le cas de figures, ces 2 aspects d'inondations sont fréquents en Algérie.

Pourquoi les appelle-t-on *inondation torrentielle* ? Parce que tout simplement, ces inondations sont souvent provoquées par des averses (généralisée ou localisées), générant des crues plus ou moins violentes, importantes en volume et courtes en durée conférant au ruissellement, un régime torrentiel (c'est à dire : un ruissellement rapide, une vitesse d'écoulement importante, un écoulement fortement turbulent, chargé et émulsionné transportant des arbres, des éléments en suspension et autant de cailloux que d'eau.

Cette torrencialité du régime des eaux est liée étroitement à la notion d'intensité de l'averse ; celle-ci étant définie comme étant la quantité d'eau précipitée rapportée à l'unité de temps (mn, h), et exprimée généralement en mm/h. La même quantité d'eau précipitée réagit de façon très différente selon qu'elle tombe en 15 mn ou en 24h et peut ou ne pas provoquer des dégâts tout dépend de l'état du sol au moment où il reçoit cette averse.

En Algérie, nous considérons que toute intensité de pluie dépassant les 24 mm/h (ce qui est très fréquent) provoque un transport solide, celui-ci étant lié directement au ruissellement, peut conférer à ce dernier, une capacité érosive voire destructive.

La topographie du terrain peut contribuer de beaucoup à la vitesse de ruissellement :

- Plus le terrain est pentu, plus la vitesse de ruissellement est importante, plus la force érosive de l'eau augmente en affouillant, creusant et arrachant les particules au sol augmentant ainsi la capacité destructive de l'eau.

- Plus le relief est doux, plus la vitesse d'écoulement diminue puisque on change de régime d'écoulement (on rentre dans un régime fluvial) pour s'annuler si le terrain est plat et plus il y a stagnation de l'eau dans le cas où aucune infrastructure hydraulique n'existe pour leur évacuation. Trouvant le terrain adéquat, la lame d'eau écoulée peut devenir très importante en hauteur et en volume, pouvant former des champs d'inondation dont la nature et la gravité des dégâts restent étroitement liées à la spécificité de chaque champ inondable.

2. Conséquences

Les conséquences des inondations sont liées directement aux conséquences de l'érosion hydrique. Ces conséquences sont parfois très graves et souvent irrémédiables. Parmi ces conséquences, nous comptons :

- Diminution de la fertilité des sols, avec apparition de tâches claires dans les terres en pente ;
- Perte de surface cultivable livrant des paysages nus et ravinés ; Gréco dans son livre 'l'érosion en Algérie' estime à 16.6 m³/ha, la perte en sols causée chaque année par l'érosion hydrique ;
- Influence sur le régime des eaux : installation d'un régime torrentiel provoquant des temps de concentration des eaux des bassins versants très courts ;
- Arrachement des terres à l'amont causant des dégâts à l'aval par :
 - des envasement et sédimentation des barrages (constituant une gravité majeure en Algérie) ;
 - des comblements et des exhaussement des lits d'oueds avec un changement parfois radical de leur profil ; arrivées dans les plaines, les eaux chargées de limon déposent les sédiments transportés. Les ponts donnent l'impression de s'enfoncer.
 - dépôts dans les infrastructures hydrauliques : stations de pompage, canaux d'irrigation et de drainage ; avaloirs...
 - dépôts de sédiments sur les plages : d'après une étude faite par Demmak, on estime à 1 Million de m³ le volume de sédiments déposés chaque année par les cours d'eau des bassins versants tributaires de la mer Méditerranée.
- Débordements de cours d'eau coupant routes et autoroutes ; emportant les maisons, colmatant les sols et asphyxiant les cultures.
- Inondations de zones urbaines avec des dégâts matériel et humain plus ou moins importants.

Il a lieu de noter qu'il existe 5 types d'inondation:

- inondations dites pluviales;
- inondations provoquées par le débordement d'Oued;
- inondation due à une crue torrentielle;
- inondation créée par une lave torrentielle

- inondation créée par une rupture de barrages

Quel que soit le type d'inondation, les dégâts pouvant être causés dépendent de plusieurs facteurs (topographie, forme du bassin versant, degré d'aménagement, degré du couvert végétal, degré d'urbanisation, état des cours d'eau, état du réseau d'assainissement pluvial...)

De toutes les conséquences citées, nous n'avons considéré les inondations que sous l'aspect *dégât matériel* qui ne se manifeste qu'à moyen ou long terme.

L'autre aspect alarmant et critique de ces inondations est la perte de vies humaines. Ce n'est que lorsque ça arrive, que l'on commence à se poser les questions, à savoir :

Comment cela est-il arrivé ? Pourquoi c'est à cet endroit précis et non pas un autre ? Que doit-on faire pour que cela n'arrive pas une 2^{ème} fois ? Toutes les parties concernées sont mobilisées devant la catastrophe. Les premiers secours arrivent et bien sûr, les premiers sont ceux de la protection civile qui ne ménagent aucun effort devant leur devoir.

Les enquêtes se font par les autorités concernées, pour la compréhension de ce phénomène naturel, des études hydrologiques et d'aménagement pour la protection de la zone vulnérable sont réalisées et souvent par manque de moyens financiers, n'aboutissent pas.

En Algérie, un recensement des averses et des dégâts occasionnés a été fait par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (Lahlah, 1997), classant les inondations en 3 types :

- inondations liées à des situations météorologiques remarquables se traduisant par une forte pluviosité ;
- inondations provoquées par des facteurs anthropologiques : défaillance des réseaux d'assainissement, exhaussement de lits d'Oued suite aux décombres et détritiques, construction illicite sur les terrasses alluvionnaires de lits d'Oued...
- inondations liées à une topographie adéquate.

Quel que soit le type d'inondation, celle-ci devient catastrophique dès que des dégâts humains et matériels sont enregistrés. Parmi les dégâts occasionnés, nous enregistrons selon la gravité:

- des pertes de vies humaines et des disparus ;
- des familles sans abris ;
- des ponts, routes et autoroutes endommagées ;
- des cultures endommagées ;
- des pertes en sol considérables débouchant soit en plaine asphyxiant définitivement les cultures après le retrait des eaux ou dans les infrastructures hydrauliques comblant en sédiment les barrages, les canaux d'irrigation, les stations de pompage
- détarages fréquents des stations hydrométriques par les crues suite aux averses torrentielles rendant la tâche difficile aux ingénieurs chargés du suivi des stations.

Les régions à risque ou vulnérables sont nombreuses en Algérie, de part leur topographie. Elles font l'objet d'une identification par le Ministère des Ressources Hydriques et une politique d'aménagement des cours d'eau surtout en milieu urbain se dessine.

Plusieurs régions du pays sont régulièrement menacées par ces catastrophes hydrologiques. Donnons quelques exemples de ces dernières.

2.1 Cas d'averses généralisées :

➤ *L'événement de l'Oued Rhiou du 20 Octobre 1993* où en 30 mn de pluie, la ville fut déclarée sinistrée avec 23 morts, 20 blessés et plusieurs disparus. L'intensité moyenne maximale observée sur un intervalle de référence de 30 mn ($I_{max30mn}$) a dépassé les 80 mm/h. Ce qui n'est guère négligeable. Il a fallu 30 mn seulement, pour que 40 mm de pluie provoque les dégâts cités. Ces inondations sont dues au débordement d'un petit cours (Oued Griga) situé à l'amont de la ville de l'Oued Rhiou. Les crues observées aux différentes stations hydrométriques contrôlant les sous bassins versants avoisinant ont été mesurées donnant ainsi :

- 248 m³/s à la station de l'Oued El-abtal
- 164 m³/s à la station de Djidiouia
- 296 m³/s à la station Ammi Moussa

Cette averse généralisée où la pluie a duré plusieurs jours (18 au 22 octobre) a créé effectivement un désastre à l'aval. Le pic a été atteint dans la journée du 20 Octobre. Cet événement ne constitue guère un événement historique en terme probabilistique, mais les dégâts occasionnés sont très importants dus essentiellement au non-respect du lit majeur du cours d'eau. Effectivement, les eaux en furie, torrentielles, en provenance de l'amont des bassins versants, ont emporté tout ce qui était à leur portée dans la mesure où leur espace a été investi par des constructions. Ces matériaux détruits, mélangés aux eaux en colère, ont conféré à ces inondations une force destructive encore plus grande, créant des goulots d'étranglements dans les buses des ponts de la route nationale et inondant la ville et le périmètre d'irrigation.

➤ *L'événement du 29 mars 1974*, a provoqué des inondations catastrophiques sur les bassins versants des Côtiers Algérois, du Sébaou, de l'Isser et de la Soummam.

La wilaya de Tizi Ouzou a été le plus touchée, comptant d'importants dégâts humains et matériels : 52 morts, 4570 maisons détruites, 130 villages isolés et coupés du reste de la Wilaya, plus de 18 000 sinistrés, 13 ponts détruits et quelques kilomètres de routes endommagés. Les dégâts matériels ont été estimés à 27 millions de Dinars.

Ces pluies qui se sont abattues ont duré 3 jours (29 au 31 mars) où on a enregistré respectivement aux postes pluviométriques avoisinants (cols de Sakamody et Ain El-Hammam, 688 et 529 mm de pluie tombée. La journée du 29, à elle seule, a donné le maximum d'eau avec un enregistrement de 381 mm au col Sakamody, soit une intensité moyenne de 16 mm/h.

Les débits maxima de crues observées dans certaines stations hydrométriques ont dépassé 3 000 m³/s ; exemple : station de Baghlia 3420 m³/s, station de Lakhdaria 2940 m³/s.

2.2 Cas d'averses localisées

➤ *L'événement du 23 Septembre 1994*

La ville de Bordj Bou Arreridj (située dans les hauts plateaux) a vécu le 23 septembre 1994 à 7h du matin, des inondations catastrophiques suite à un violent orage. Des pluies diluviennes, accompagnées de grêle ont provoqué d'importantes crues jamais vues selon des témoignages de veilles personnes. En 24 h, 111 mm de pluies ont été enregistrées. Cette averse localisée reste un événement exceptionnel dont la période de retour a été estimée à 200 ans.

Le barrage de Ksob, d'une superficie de 1500 Km², situé à l'aval de la ville de BBA a perçu plus de 20 Millions de m³ en l'espace de 24h. Toutes les chabaates traversant la ville ont débordé.

➤ *L'événement du 6 février 1996*

En moins de 18h, 81 mm de pluie sont tombés sur la ville d'El-Khemis. Tous les petits cours d'eau qui proviennent du massif du Zaccar ont débordé à plusieurs endroits de la ville, inondant d'importantes superficies. Par manque de curage, ces cours d'eau ont été bloqués par des déchets industriels et divers objets (branches d'arbres, pneus, etc..), créant des goulots d'étranglement. En dehors de quelques dégâts matériels, aucune perte humaine n'a été déclarée.

➤ *L'événement du 10 Novembre 2001*

Plusieurs villes du Nord ont été touchées par les inondations notamment les villes côtières enregistrant des dégâts matériels très importants. La ville la plus touchée est Bab El Oued à Alger où on a enregistré plus de 700 morts, des dizaines de disparus, des sans-abris et des dégâts matériels se chiffrant à des Millions. En 24h, la pluie enregistrée au port d'Alger (Behlouli, 2002), est de 207 mm. Selon la même source, le débit de pointe de la crue est estimé à 730 m³/s au niveau de Triolet (Bab El Oued), soit un volume écoulé de 2,6 Millions de m³. Dans cette journée, 3 pics d'intensité ont été enregistrés, 19 mm en 30 mn, soit une intensité moyenne maximale de 36mm/h. Bien que l'intensité de la pluie n'est pas exceptionnelle, l'ampleur des dégâts occasionnés par une telle intensité est considérable, liés beaucoup plus à un environnement qui a contribué à favoriser l'action destructrice et dévastatrice de l'eau par l'arrachage, le transport et le dépôts des sédiments dans les zones les plus peuplées. On estime à de 800 000 m³ de dépôts de sédiments charriés.

3. LUTTE CONTRE LES INONDATIONS TORRENTIELLES

Il est difficile de lutter contre les inondations torrentielles sans décrire le cours d'eau et son bassin versant et de parler d'aménagement de bassins versants voire même lutte anti-érosive.

3.1 Description d'un cours d'eau et de son bassin versant

Qu'est-ce qu'un bassin versant ? Un bassin versant au droit d'une section de mesure ou bassin d'alimentation est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ces affluents en amont de ladite section. Tous les écoulements prenant naissance à l'intérieur de cette surface doivent traverser la section droite considérée pour poursuivre leur chemin à l'aval.

De par ses caractéristiques physiques et géomorphologiques, le bassin versant joue un rôle important pour la détermination du caractère du cours d'eau ou de la rivière. Le bassin versant représente la génération des débits et la fourniture des matériaux en suspension pour le transport solide.

Le lit des cours d'eau n'est pas fixe et est en perpétuel mouvement et peut se déplacer très vite (quelques jours lors d'une crue) ou évoluer plus lentement (quelques années).

Il existe 3 sortes de lits suivant la forme de leur tracé en plan :

- des lits droits ou lits rectilignes ;
- des lits à méandres (les plus fréquents);
- des lits en tresses ou lits anastomosés.

Le cours d'eau comporte 3 lits :

- le lit mineur ou lit de basses eaux observé surtout en étiage ;

- le lit moyen que l'eau recouvre habituellement ;
- le lit majeur que l'oued recouvre en période de crues et qu'il faut respecter.

3.2 Les champs d'inondation

C'est la topographie du terrain qui fixe la forme et l'étendue des champs d'inondation. Ce sont souvent les inondations précédentes qui ont fixé peu à peu cette topographie sous forme de grandes plaines alluviales ou sous forme de fonds de vallée relativement plats entre 2 lignes de coteaux.

La largeur des champs d'inondation peut aller de quelques dizaines de mètres à quelques dizaines de Kilomètres. Ces champs peuvent être submergés régulièrement tous les ans ou très irrégulièrement à des intervalles très espacés.

La submersion des terres peut être à l'origine d'érosions fâcheuses lorsqu'elles s'accompagnent de trop fortes vitesses d'écoulement, elle peut être aussi à l'origine de dépôts bénéfiques (limons) ou néfastes (moellons et galets).

Dans les zones arides et semi-arides, la sécheresse qui suit les inondations favorise le terrassement et le durcissement des alluvions rendant le lit difficilement remaniable.

3.3 L'érosion hydrique et le transport solide

La définition la plus simple qui a été donnée de l'érosion est : « l'érosion hydrique est un phénomène naturel, spatial et temporel, qui consiste à arracher, transporter et déposer les particules du sol sous l'effet d'agents externes : la pluie, la température et surtout l'homme.

Nous distinguons différents types d'érosion hydriques comme le montre la figure 1. :

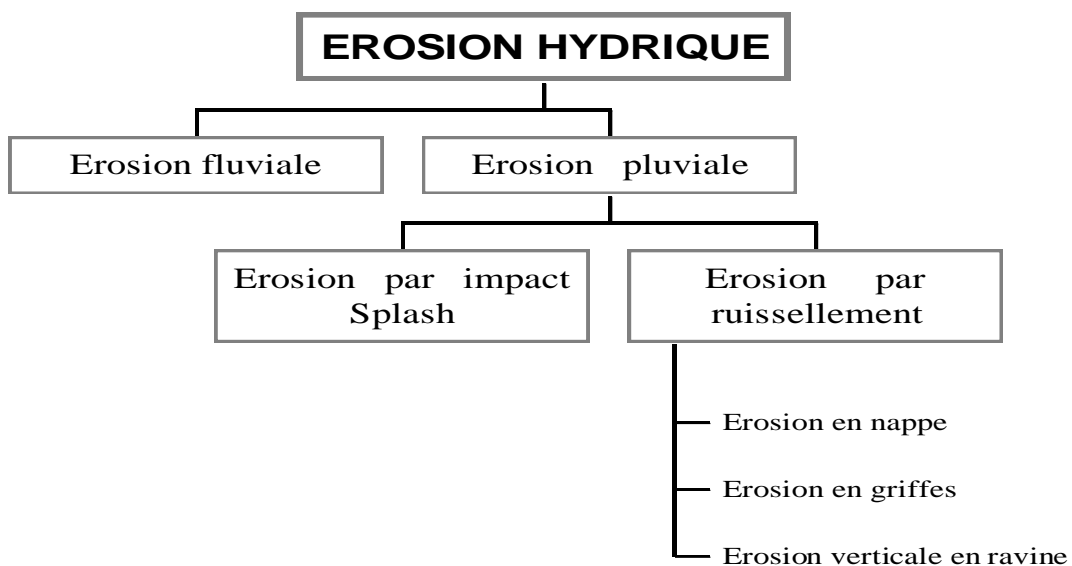


Fig.1. Les différents types d'érosion

Il est à remarquer que si les conditions du milieu environnant sont favorables, nous pouvons passer rapidement du splash au ravin, car l'érosion est un phénomène plus ou moins rapide, mais une fois déclenché plus rien ne l'arrête s'il n'est pas freiné. Traduisons ce phénomène par un simple générique comme le montre la figure 2 (Touaibia, 2000).

L'aménagement anti-érosif peut s'effectuer au niveau de chaque stade d'évolution de l'érosion, depuis la griffe au ravin. Seulement ces aménagements demandent parfois des investissements importants, coûteux, non rentables à court terme et qui ne sont amortis que quelques années plus tard s'ils sont bien sûr entretenus.

Le non entretien de ces aménagements peut contribuer de façon spectaculaire à

l'accélération de l'érosion hydrique.

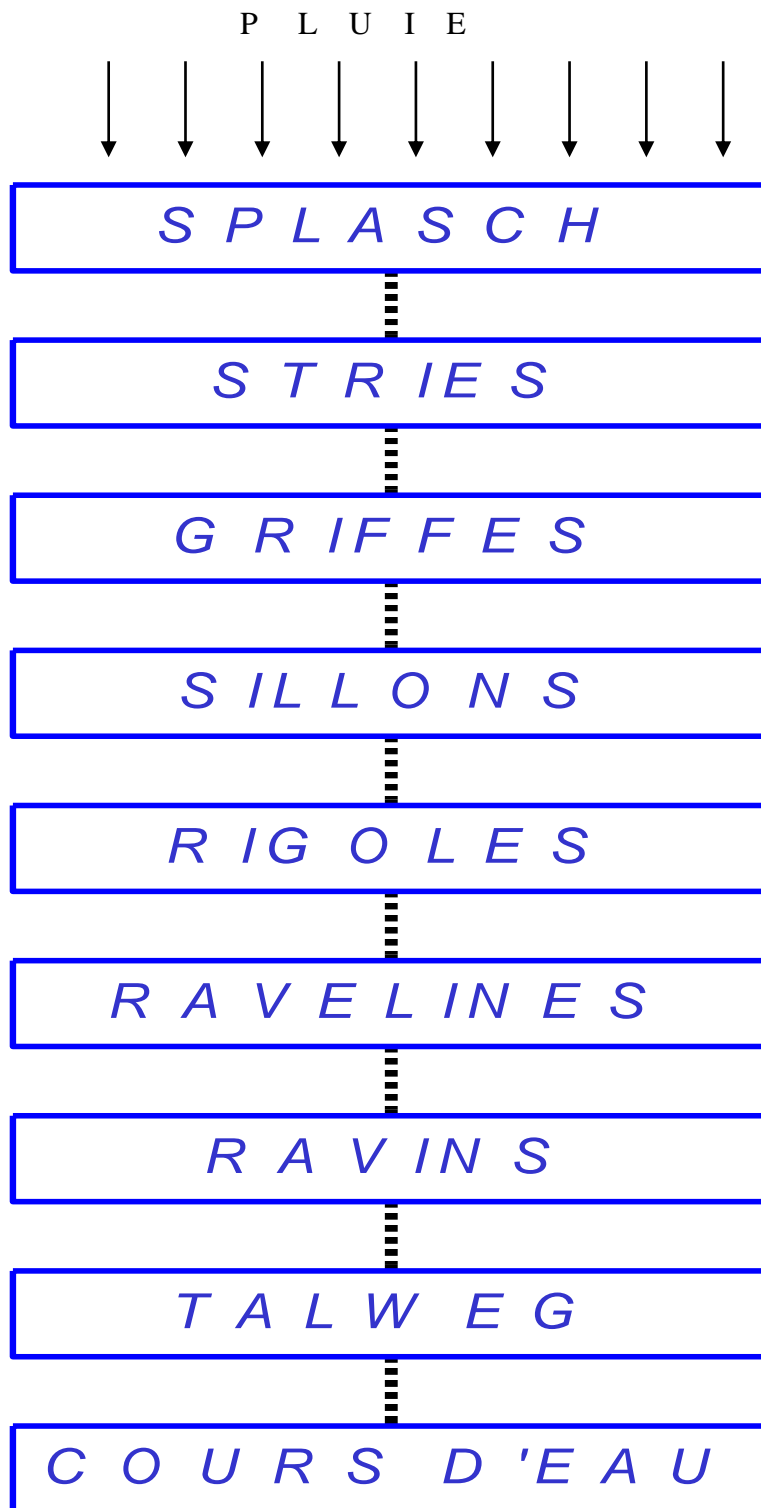


Fig. 2 Générique de l'érosion hydrique

3.4 Les aménagements anti-érosifs

Les aménagements se distinguent selon que l'on soit en montagne ou en plaine, associés aussi à deux notions distinctes de lutte :

- d'abord l'aménagement du bassin d'alimentation ;
- ensuite l'aménagement du réseau d'écoulement.

➤ *L'aménagement du bassin d'alimentation*

Cet aménagement passe la défense et restauration des sols qui consiste d'une part à retenir le sol en place et d'autre part à acheminer les eaux vers des chemins préférentiels que l'ingénieur aménagiste propose.

Cette rétention du sol en place n'est pas simple à réaliser car une politique de vulgarisation doit se pratiquer envers la paysannerie essentiellement, pour les sensibiliser aux différentes actions anti-érosives des sols, à savoir :

- labourer dans le sens des courbes de niveau,
- aménager les terrains pentus agricoles en banquettes, terrasses et murettes.
- Reboiser les régions non destinées à l'agriculture pour freiner le ruissellement.
- Adapter les façons culturales aux sols cultivés
- Eviter le défrichement des terrains
- Eviter le surpâturage intensif.

➤ *L'aménagement du réseau d'écoulement*

Cet aménagement est le plus important et peut contribuer d'une manière très pratique à la lutte contre les inondations torrentielles, en freinant ou en arrêtant les eaux bien à l'amont des bassins versants lorsqu'il s'agit de débordements d'oueds dus à des averses généralisées.

L'aménagement consiste à régulariser les eaux et les débits en :

- aménager les bouts de ravins et cours d'eau primaires pour éviter leur avancée dans le bassin d'alimentation, par la construction de chute simple en gabionnage par exemple;
- casser les pentes des cours d'eau à régime torrentiel par des constructions de petits barrages, de seuils ou par simple clayonnage afin de freiner la vitesse de ruissellement et casser l'énergie cinétique des eaux ;
- stabiliser les berges des cours d'eau par enherbement naturel ou artificiel, mur de soutènement en gabionnage par exemple dans les endroits fragilisés ; pour éviter l'affouillement progressif du lit des cours d'eau et la perte en sol ;
- construire des retenues collinaires et des barrages dont le but principal serait d'accumuler les eaux pour des éventuelles distributions (Irrigation, AEP ou autres) et éviter leur perte dans des inondations superflues. Dans un pays comme le nôtre, ces infrastructures hydrauliques restent un moyen précieux pour notre développement.

Tous ces aménagements en amont des bassins versants sont conçus de telle sorte à limiter et à freiner la vitesse de ruissellement qui perdra son énergie à chaque obstacle rencontré. Nous sortirons d'un régime torrentiel pour rentrer dans un régime fluvial qui sera caractérisé par une vitesse faible, une pente faible où souvent il y a dépôt de matériaux chargés. Cet aménagement en vallée va consister à modifier le tracé et le profil en travers du cours d'eau et de jouer en quelque sorte sur les débits pour éviter toute catastrophe. Il consistera donc à :

- lutter contre les inondations et l'immersion des terres agricoles par des endiguements longitudinaux ;
- lutter contre le sapement des berges, la perte de terrain et l'avancée des talus par :
 - . des murs de soutènement appropriés ;
 - . des épis pour dévier le courant de l'eau ;
 - . des seuils et des déversoirs noyés pour briser en cas de crues l'énergie cinétique de l'eau et accumuler de l'eau pour un éventuel pompage où une éventuelle déviation du cours d'eau.
- curer et nettoyer continuellement les stations de pompage, les canaux d'irrigation et tout tronçon de cours d'eau susceptible de créer un goulot d'étranglement.

En conclusion, la régularisation des eaux et des débits reste un passage obligé pour lutter contre les inondations torrentielles.

Références bibliographiques

Behlouli, L., 2002 Note technique du 9 et 10 Novembre 2001. Région d'Alger. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. Journées d'Etudes. KLI Conseil. 19 et 20 Février 2002.

Lahlah, S.,1997., Introduction sur l'étude des inondations en Algérie. Agence Nationale de Ressources Hydrauliques. Alger

Touaïbia B, 2000 Erosion -Transport Solide – Envasement de barrage. Cas du Bassin versant de l'Oued Mina. Thèse de Doctorat d'Etat. INA. El-Harrach.