

CONCEPTION DES PONTS ET TECHNIQUES
DE CONSTRUCTION

Rapporteur Coordinateur :

B. MIJUSKOVIC
Ingénieur au CID

Rapporteurs :

M. AKAABOUNE
Ingénieur au Service des Ouvrages d'Art
DRCR
M. RHAZI
Chef du Service études
SEPROB
Abderrafie YOUSFI
Directeur de MESEC
M. LAGHRARI
Chef du Service des Ouvrages d'Art
DRCR

A - CONCEPTION DES PONTS

"JO GIES, écrivain américain :

"Un pont est à une Route ce qu'un Diamant est à une Bague".

Le génie Civil remonte aussi loin que l'histoire. M.STRABON a rapporté qu'à Babylone on pavait des routes il y a :4.000 ans Hérodote fait état dans ses écrits de l'existence en 2230 AV. J.C d'un grand pont sur l'Euphrate, formé de poutres en bois prenant appui sur des piliers en pierres. Les Ingénieurs des pharaons ne manquaient pas de connaissances techniques en construisant les pyramides dont les hauteurs sont comparables avec les gratte-ciel de 40 à 50 étages de notre époque.

La construction de ponts dans le domaine du Génie Civil est une très ancienne manifestation de l'intelligence humaine qui a très vite compris l'économie et que pour assurer ses transports, il fallait souvent "corriger la nature" en franchissant les obstacles qui interrompent les voies de communication. Dans tous les pays, les générations passées, parfois très lointaines, nous ont laissé des ouvrages d'art qui forcent l'admiration des Ingénieurs d'aujourd'hui.

L'invention des chemins de fer et de l'automobile a changé la dimension du problème "TRANSPORT" et a entraîné la création d'un grand nombre de ponts. La croissance des échanges de personnes et de biens a connu une formidable augmentation et entraîna de nouvelles constructions de routes et autoroutes.

Il est connu que les Routes et les Autoroutes figurent parmi les instruments de l'aménagement du territoire en permettant de désenclaver les régions, de rentabiliser leur production et de diffuser l'activité industrielle. Les Routes modernes et particulièrement les Autoroutes, en raison de l'augmentation des rayons des courbes "collent" beaucoup moins au terrain que les routes anciennes qui épousaient en général étroitement le relief et conduisent à créer des ouvrages d'art, pour le franchissement des obstacles les plus divers.

La richesse de ce patrimoine n'est pas seulement due à son nombre, elle tient également à la diversité de la conception et du matériau lesquels sont d'ailleurs liés l'un à l'autre. Au bois, à la pierre ou aux briques romaines ont succédé le béton, le fer, la fonte et ensuite l'acier et la conjugaison du béton et de l'acier sous la forme du béton armé, béton précontraint ou comme ouvrage mixte : béton pour hourdis et poutrelles en acier. Déjà aujourd'hui de nouveaux matériaux font leur apparition sous forme de béton léger, métaux légers ou matières plastiques.

Ne perdons pas de vue qu'il nous faudra encore construire de nouveaux ponts plus au moins importants et pour cela, il faut mobiliser toutes nos connaissances en faisant preuve de plus d'imagination dans ce domaine de conception des structures, conception de calcul, choix des matériaux et des procédés de construction.

Le trafic s'il ne semble pas être appelé à connaître dans les prochaines années une croissance aussi rapide que par le passé, peut voir une augmentation de charge globale circulant sur l'ouvrage.

Monsieur EDUARDO TORROJA, "Le grand-Espagnol" avait écrit : "Avant et au dessus de tout calcul, règne l'Idée, qui modèle le matériel et lui donne sa forme résistante, afin qu'il puisse accomplir sa mission. Cette structure n'est pas un froid assemblage des briques de mortier, de bouts de bois ou de morceaux de fer. la structure c'est un être vivant, un être qui pense, qui réfléchit, qui veut et qui ne peut pas, qui souffre quelques fois et qui se révolte quand on le maltraite trop". Voyons, qu'est ce qu'il s'est passé pendant des siècles au Maroc.

I - HISTORIQUE : STRUCTURE ET MATERIAUX DE CONSTRUCTION :

Le MAROC, Pays avec une longue tradition est un pays jeune si l'on considère le patrimoine des ponts proprement dits. La plupart des ponts au MAROC datent d'une époque assez récente; il ne subsiste plus que quelques unités anciennes datant du début du siècle notamment des ouvrages en maçonnerie dont certains sont encore en service.

De l'époque Romaine, on n'a pas trouvé de traces, mais la technique de construction des voutes en briques plates romaines, observée au niveau de certains ouvrages très anciens, comme par exemple celui sur l'Oued CHENCH près de moulay Idriss qui se trouve à proximité de l'ancienne colonie Romaine "Volubilis". Cet ouvrage comporte une voûte en briques Romaines en plein cintre surmonté par des tympans très hauts, actuellement soutenus par des contreforts, en terre pisée.

De cette longue période d'histoire de près de 20 Siècles, ressortent quelques exemples de ponts relatifs à des époques différentes et qui, en général, par leurs formes et leurs matériaux reflètent l'époque où ils ont été construits. Parmi ces exemples, on peut citer un pont sur TENSIFT près de MARRAKECH, un autre pont à KASBA-TADLA et deux ponts à FES dont un est situé sur la RP.1 entre MEKNES et FES.

Parmi ces ouvrages, qui sont encore ouverts à la circulation, certains sont construits suivant la technique Portugaise, d'autres selon la technique des Espagnols.

Au 20^{ème} Siècle, le MAROC a connu une rapide évolution au niveau du Transport et particulièrement le transport routier. Parallèlement à ce développement, a évolué la construction des ponts dont les formes de structures et techniques de construction ont été influencées par la présence des Français dans les parties Centrales et Sud du Pays, et la présence des Espagnols au Nord. Au début c'étaient des structures qui ressemblaient aux ponts romains et à ceux de l'époque péroné et de séjourné en France, ils étaient tous construits en pierre. Un exemple type et qui est en circulation,

c'est le pont sur l'Oued BEHT, sur la RP. 1 à 17 Km de KHEMISSSET vers MEKNES.

C'est un pont constitué d'un arc central en maçonnerie de 12,0 m de portée. L'Ouvrage a été construit en 1913. Après cette première époque, le Béton Armé a commencé à être un matériau très utilisé au MAROC. Cette époque se caractérise aussi par la construction d'un certain nombre de ponts métalliques souvent en forme de poutres en treillis ou pour les petites portées sous forme de poutrelles IPN métalliques soit enrobées par le béton ou prévues comme nervures d'un pont dalle nervurée. (Pont métallique dont le hourdis est en béton armé).

Au MAROC, comme en Europe, le béton armé commence à être un matériau très utilisé. Son évolution comme matériau de construction, ses réglementations et les nouvelles conceptions des structures en béton armé se développent sans aucun retard par rapport à l'Europe. Par contre la pierre et le métal comme matériaux de construction des ponts commencent à disparaître et avec eux aussi disparaissent les entreprises spécialisées dans le domaine. Actuellement, il est difficile de trouver une entreprise capable de construire un pont en voûte ou en arc à cause du manque d'ouvriers spécialisés d'une part et à cause de la compétitivité économique d'autre part.

La période entre les deux guerres mondiales a été dominée par la construction des ponts en béton armé avec tous les types de structure à savoir : Ponts à Poutres simples, continues ou cantilever, ponts en arcs, ponts Bowstring, portiques. Les Piles et culées qui étaient construites uniquement en pierres ont commencé à être construites en béton ou en béton armé avec diminution des dimensions vis-à-vis des constructions en maçonnerie. Cette réduction en dimensions peut favoriser des portées plus importantes ce qui a pour conséquence une augmentation du débouché superficiel et par conséquent une augmentation des capacités d'évacuation des eaux par ces ouvrages.

Les ponts métalliques perdent leur privilège qu'ils avaient au début du siècle. Deux ponts suspendus, l'un sur l'Oued Yquem, l'autre sur l'Oued Cherrat construits en 1922 représentent cette glorieuse époque des ponts métalliques avec des portées de 100 m portées record au MAROC.

Au 20^{ème} Siècle, Siècle d'inventions, le béton précontraint est né.. Très peu de temps, après la construction des premiers ponts en béton précontraints en France et en Allemagne après la deuxième guerre mondiale, il y a eu au MAROC la construction des deux premiers ponts en Béton Précontraint : Pont Moulay Hassan sur l'Oued BOUREGREG à RABAT et Pont sur l'Oued SOUSS (RP.32) à AIT MELLOUL (construits entre 1956 et 1958). Les deux ouvrages sont des ponts à poutres isostatiques préfabriquées en béton précontraint sous chaussée.

Avec ces deux ponts a commencé le développement important des ponts à poutres préfabriquées en béton précontraint avec une

portée limite de 40 m par travée. Le béton précontraint est donc entré au MAROC par la grande porte et jusqu'à nos jours il est toujours en développement. Le système des ponts à poutres est le plus répandu, mais on peut aussi trouver d'autres systèmes appliqués dans ce domaine. Parmi ces systèmes, il y a les ponts dalles isostatiques et continues, les ponts à caissons continus mis en place par poussage ou bétonnée sur échafaudage.

A propos des "Ponts-Dalles", il faut rappeler que ce type de structure n'était pas beaucoup utilisé avant, c'est à dire entre les deux guerres. Parceque, d'une part le béton armé et le béton précontraint sont les seuls matériaux adoptés pour ce type de structure, et d'autre part la conception de calcul des structures plates n'était pas encore assez développée. Avec le développement des théories de structures et l'apparition de l'informatique, les dalles ont trouvé leur place dans le domaine des ouvrages d'art. Aujourd'hui, il est difficile d'imaginer la construction des passages supérieurs d'une autoroute ou des échangeurs par une autre structure autre que le pont dalle continue en béton armé ou en béton précontraint suivant les longueurs des travées. A partir de 1972 le nombre des ponts dalles a rapidement augmenté pour le franchissement de canaux ou de rivières. Diverses structures en forme de portiques, des dalots cadres simples ou multiples, des radiers semi-submersibles sont aussi construits avec une structure transversale qui est une dalle.

Le MAROC dispose d'un matériau qui est tombé en oubli avec l'apparition du B.A et du B.P. Il s'agit de "La Pierre"

Cependant, avec la politique de la Direction des Routes et de la Circulation Routière vis-à-vis des Routes Economiques, les ouvrages en maçonnerie peuvent être réactives particulièrement pour les ouvrages hydrauliques d'une travée de portée allant de 1 à 24 m. L'avantage se trouve au niveau de l'utilisation d'un matériau qui est "presque" sur place, et de la main d'oeuvre qui est aussi locale. Ainsi les entreprises locales seront aussi favorisées.

Il y a d'autres structures que l'on ne rencontre pas au MAROC, ce sont les ponts à béquilles obliques, les grands arcs en béton armé et ponts à haubans. Les portées des travées des ouvrages marocains sont en général limitées à 40 m en cas de préfabrication et de lancement ou à 70 m dans le cas d'un autre système de montage et de préfabrication. La portée maximale de 100m, établie peu après la 1ère guerre mondiale avec la construction des deux ponts suspendus sur la RP.1 entre CASABLANCA et RABAT reste toujours le record à battre.

Diverses raisons justifient cet état de chose :

- Manque de brèche de grande longueur qui ne puisse pas être franchie sans appuis intermédiaires ;

- Les cas où d'autres techniques que la travée indépendante en béton précontraint telle que poutre construite en encorbellement ou en métal et qui pouvaient être envisagées sont peu nombreuses. Les perspectives d'amortissement des équipements nécessaires à

leurs utilisations sont en conséquence trop mauvaises pour qu'elles puissent être retenues.

-L'acier comme matériau de construction est devenu beaucoup plus cher, ce qui n'a pas favorisé les entreprises de construction métalliques spécialisées dans le domaine des ponts. Et on peut dire qu'à partir de l'indépendance les ponts métalliques ont disparu comme une structure concurrente pour les ponts au Maroc.

On peut cependant regretter l'absence de techniques de construction en cas des longs ponts traversant des estuaires vaseux où les fondations, les structures lourdes (en B.A. ou B.P) présentent un grand problème ou en cas de tassements différentiels des appuis, une structure métallique se justifie par ses avantages légèreté de la structure porteuse, fondations moins coûteuses à cause des portées plus grandes que le métal nous offre et aussi les vitesses de construction en encorbellement ou par poussage sont très avantageuses et enfin on a affaire à un matériau qui résiste aussi bien à la compression qu'à la traction.

A cause des brèches naturelles qu'on peut franchir par des portées de 100m, une "Structure mixte", qui n'est pas encore connue au MAROC, peut être très concurrente aux structures actuelles B.A et en B.P. Il s'agit "des ponts Mixtes" dont le hourdis est en B.A ou éventuellement en B.P et les ames des poutres sont en métal.

II - CARACTERISTIQUES DE LA CONCEPTION DES DIVERSES STRUCTURES UTILISEES DERNIEREMENT POUR LES PONTS MAROCAINS :

Nous avons déjà constaté que le béton précontraint a fait faire un grand pas au niveau de l'évolution de la conception des ponts. Avant, les structures connues par la résistance des matériaux systèmes linéaires étaient uniques et nombreuses.

Le béton précontraint, que nous pouvons appeler nouveau matériau a eu beaucoup d'influence sur le changement et sur le comportement des structures classiques. Il s'agit des structures en B.P, qui au cours de construction jusqu'à la mise en service ont changé plusieurs phases et plusieurs systèmes, en fonction du procédé de construction.

Le système le plus utilisé durant ces trente dernières années pour les ponts marocains est le système des ponts à poutres : Ponts à poutres multiples préfabriquées en B.P, lancées par Pont Bailey.

Les premiers ponts à poutres préfabriquées sont connus avec leur structure classique :

- Poutres préfabriquées mises en place par lancement,
- Bétonnage sur place du hourdis sur échaffaudage appuyé aux poutres,
- Bétonnage sur place d'un certain nombre d'entretoises avec une distance qui varie de 3 à 7 m.

Les inconvénients de ces premières constructions sont les suivantes :

- Existence d'un grand nombre d'entretoises
- Bétonnage sur place du hourdis par l'intermédiaire d'un échafaudage appuyé sur les poutres préfabriquées.
- Pour les ponts avec plusieurs travées isostatiques, il y a existence d'un grand nombre de joints de dilatation.

A partir de 1969-1970, les nouvelles conceptions des ponts à poutres préfabriquées ont permis de mettre en oeuvre des idées originales :

-La suppression de toutes les entretoises constitue une innovation qui a apporté une économie intéressante, par simplification des coffrages des poutres et des sujestions d'étayage et de coffrage des nervures transversales des poutres coulées sur place. L'entretoisement des poutres est assuré uniquement par le hourdis. De nombreux essais en FRANCE ont montré que le fait de supprimer toutes les entretoises ne diminue pas la stabilité du tablier. Ces essais détaillés ont été effectués sur modèles en micro-béton précontraint et sur maquettes en plexiglas. Une très bonne concordance a été constatée entre la théorie et l'expérience. Les conclusions sont les suivantes ;

-En l'absence des entretoises, le hourdis est soumis au voisinage des appuis à une flexion transversale importante mais à laquelle, il est en mesure de résister ;

-La torsion dans les poutres se trouve, en revanche diminuée

-Le hourdis est certes soulagé par présence des entretoises, mais celles-ci subissent alors de fortes sollicitations hors de leurs plans moyens ;

-La suppression de toutes les entretoises peut être envisagée mais à condition de doter le hourdis d'une précontrainte transversale majorée au voisinage des appuis. En revanche, il sera possible de réduire le ferrailage de torsion dans les poutres. Le premier pont construit au MAROC en 1970 sans entretoises sur une longueur de 228 m c'est le Pont sur l'Oued ZIZ à AIT-ATMANE sur le route MIDELT-ERRACHIDIA. A partir de cette date tous les ponts de ce type ont été construits sans entretoise intermédiaire. Les entretoises sur appuis ont été gardées pour servir dans le cas d'un soulèvement éventuel du tablier.

-L'exécution du hourdis coulé sur des prédalles préfabriquées a apporté aussi une économie sensible pour les opérations de coffrage et surtout de décoffrage. La prédalle peut participer à la déformation transversale, mais dans la déformation longitudinale, elle n'a aucun effet à cause des nombreux joints entre elles puisque ces prédalles ont une largeur de 1,00m.

-La continuité du hourdis sur appui, qui a permis la suppression des joints de dilatation, apporte un certain confort à l'usager et permet ainsi, tout en assurant la continuité du tablier, de conserver l'isostaticité du système porteur avec tous les avantages qu'il implique.

L'idée de la continuité du hourdis sur les appuis intermédiaires était arrivée comme conséquence des nombreux problèmes liés avec la mise en place d'un joint de chaussée; ils sont nombreux. Parmi ceux-ci on peut citer :

- La résistance sous l'action du trafic
- Pose, liaison avec la couche de roulement
- Etanchéité
- Longévité et entretien

Avec la continuité du hourdis tous ces problèmes ont disparu et particulièrement le problème d'étanchéité des joints, qui était une des premières causes de la dégradation des ouvrages.

A partir de 1970, tous les ponts qui ont été construits comme les ponts indépendants sur plusieurs travées en B.P ont tenu compte de ces trois innovations sous une réserve de noter que la Direction des routes et de la Circulation Routière a exigé de garder les entretoises seulement au niveau des appuis pour permettre une éventuelle surélévation des poutres par vérins afin de changer les appareils d'appuis.

Ce type de structure s'est montré, comme il l'est toujours d'ailleurs, une structure très économique au MAROC.

-Pont dalle simple ou continue, en B.A OU B.P :

Avec la construction de L'Autoroute urbaine de CASABLANCA a commencé l'application massive des ponts dalles, comme passages supérieurs ou éventuellement comme passage inférieur de l'Autoroute. Aujourd'hui, on réalise beaucoup de pont dalles en B.A construits sur les routes nationales traversant des rivières.

Avec l'application des nouvelles formes pour les R.S.S , les dalles ont trouvé leur application comme structure unique susceptible d'être submergée vu leurs formes hydrodynamiques qui sont très avantageuses. La portée maximale en B.A est : 17,5 mais en B.P c'est 24 m (pour les ouvrages du Noeud A - CASABLANCA) et 34 m pour R.S.S sur l'Oued DRAA.

Les ponts à caisson, Simple ou continu en B.A ou B.P :

Le nombre de ce type d'ouvrage ne dépasse pas 10. parmi les ouvrages qui ont ce type de structure nous citons :

-Pont de l'Autoroute CASA-RABAT sur l'Oued CHERRAT (l=2*30) en B.P bétonné sur échaffaudage. L'étude a été faite par le service des Ouvrages d'art de la Division technique de la Direction des routes et de la Circulation Routière. Cet ouvrage comporte 2 Caissons espacés de 12,5 m et reliés entre eux par un hourdis de 25 cm d'épaisseur et de 8,0 m de portée.

-Pont sur l'Oued ISSEN réalisé sur échaffaudage,

-Pont sur l'Oued SOUSS à OULED TAIMA construit en 1986 sur échaffaudage en trois phases et la mise en continuité étant assurée par cables de clavage. C'est la 1ère fois au MAROC qu'on utilise cette technique de construction qui permet des gains au niveau des coffrages et échaffaudages

-Pont sur l'Oued OUM-ER-RBIA (=35 + 70 + 35) construit en 1972. C'est le premier pont construit au MAROC par méthode de poussage.

-Actuellement deux ponts caissons sont terminés un sur l'Oued LAKHDAR constitué de 3 travées de portées respectives, 26,75 + 53,5 + 26,75 m, le deuxième franchissant l'Oued TAINIT qui a une seule portée de 35 m. Les deux ouvrages sont mis en place par poussage et se situent sur l'accès de l'Usine Electrique d'AMOUGUEZ.

-Pont sur l'Oued SELOUANE (17 + 35 + 17m) en forme de double caissons actuellement en construction est aussi prévu d'être mis en place par poussage par une Entreprise Nationale .

-En Béton Armé, 3 Ponts seulement sont construits en caisson, bétonnés sur l'échaffaudage. Deux sont isostatiques et un hyperstatique sur deux travées construit sur l'Oued BEHT.

D'après cette illustration, on peut conclure qu'au MAROC les poutres-caissons sont en général bétonnées sur échaffaudage ou sont mis en place par poussage à partir de la plateforme de bétonnage.

Les autres systèmes à caisson ne sont pas connus au MAROC. d'une part les équipements nécessaires sont très chers et d'autre part il est difficile de trouver de grandes portées où ils seront plus compétitifs. Il s'agit des ouvrages à caissons construits par encorbellement : Pont à voussoirs. La première étude est en cours pour le Pont franchissant Oued OUISLAME. Les Ponts à haubans, métalliques ou en B.P n'ont pas trouvé encore de site pour être compétitif.

III - PREVISIONS DE CRUES :

Les crues des cours d'eau provoquent pour un ouvrage d'art deux types de risques:

-Risque concernant l'accomplissement de ses fonction par submersion,

-Risque de dégradation ou de destruction de l'Ouvrage.

Les auteurs de projets de ponts ont dans le passé sous estimé l'importance de ces phénomènes. En conséquence, il en est résulté de nombreux accidents, ponts contournés par déplacement du lit de la rivière (un exemple typique est celui du RSS-de BOUDNIB) voire même Ponts détruits.

L'évaluation des débits des Oueds en crues était faite à l'aide de formules Françaises, Américaines ou Italiennes, souvent empiriques pour les conditions météorologiques, climatologiques et géologiques du MAROC. Ici, il faut souligner que le MAROC ne présente pas un territoire de mêmes conditions climato-géologiques. Elles sont plutôt hétérogènes à partir d'un climat humide méditerranéen au nord avec une pluviométrie qui varie de 600 à plus de 2.000 mm par an dans le RIF-CENTRAL, à l'autre au Sud, où la pluviométrie atteint à peine 200 mm, avec une moyenne inférieure à 100 mm pour les régions Sahariennes au Sud de l'ATLAS.

Pour les grands B.V nous avons les formules de HAZAN-LAZAREVIC (étude faite par la D.H) pour les régions Marocaines, couvrant les Bassins des grandes rivières marocaines, calibrées d'après les données pluviométriques des années 1957-1967. Ces formules ont été présentées au colloque de Léninegrad en 1967 et donnent d'après SOGREAH des résultats très satisfaisants sauf pour le RIF-CENTRAL où ces formules doivent être légèrement corrigées par excès.

A cause de la répétition de nombreux dégâts causés par des crues importantes pendant la période 1970-1972 particulièrement au Nord-Est du Pays, la Direction des Routes et de la Circulation Routière a pris au sérieux l'importance de ces études hydrologiques pour l'estimation des débits de projet pour les petits bassins versants de l'Oued Sebou. Cette étude est terminée et sera bientôt lancée pour l'utilisation. Elle servira comme étude pilote pour entamer les études pour d'autres régions. Dans un premier temps, il est prévu des études hydrologiques des bassins versant de l'Oued TENSIFT et de l'Oued SOUSS en proposant comme pour le bassin versant du SEBOU, des formules régionales pour l'estimation des débits Q_{10} et Q_{100} ainsi qu'une méthode de détermination des coefficients de rugosité pour divers petits bassins versants pour pouvoir appliquer la formule raitonnelle qui a confirmé son efficacité..

Nous espérons que dans les années à venir, nous pouvons arriver à couvrir une grande partie des régions marocaines par des formules régionales valables aussi pour les petits bassins versants. La Direction des Routes et de la Circulation Routière a mis l'accent sur les petits bassins versants vu qu'une grande majorité des ouvrages de franchissement de cours d'eau sont des petits ouvrages hydrauliques.

IV - APOUILLEMENT:

Un phénomène qui a une importante influence sur la conception des ouvrages d'art.

C'est un phénomène d'érosion, presque intantané en cas de crue pour les sols meubles ou à long terme dans le cas des sols cohérents et résistants (cas de la vallée du Colorado).

Le comportement du sol sous les actions érosives dépend essentiellement des propriétés des particules constitutives. Parmi les divers types d'affouillements possibles pour nos études, on distingue, compte tenu de leurs différentes manières d'action mécanique, les cas suivants :

- Affouillement généralisé du lieu de franchissement du cours d'eau avant la construction du Pont.

- Affouillement dû au rétrécissement provoqué par l'existence de l'ouvrage et des remblais d'accès.

- Affouillement localisé autour des piles ou à l'avant des culées du Pont.

Ce sont les trois principaux types d'affouillement dont la somme représente l'affouillement total au niveau d'un appui du Pont.

L'affouillement des appuis des ponts au MAROC existe depuis bien longtemps et pour beaucoup de cas, l'affouillement était la cause principale dans la destruction ou la dégradation des ouvrages d'art. Depuis les années soixante, ce phénomène d'affouillement a été étudié avec plus de détail pour chaque étude de fondation de pont. Sur le plan instrumental nous ne disposons pas de moyen pour estimer la profondeur maximale d'affouillement, mais sur le plan théorique et expérimental pour estimer la profondeur probable d'affouillement, on utilise des formules empiriques, dont la plupart sont américaines.

L'observation des affouillements au moment même de leur apparition sur le site est difficile et ce qu'on peut observer après une crue ne reflète pas la situation pendant la crue. En collaboration avec le L.P.E.E la Direction des Routes et de la Circulation Routière, a installé au niveau du pont AIT-MELLOUL sur l'Oued SOUSS une pile expérimentale par l'intermédiaire de laquelle on devrait recueillir les premières observations, seulement on n'a abouti à aucun résultat par suite du déplacement du lit de l'Oued. Un autre cas, celui du pont sur Oued SOUSS à OULED TAIMA qui a fait l'objet d'essais effectués par SOGREAH-GRENOBLE, sur modèle réduit. Ces résultats ont montré que l'affouillement autour d'une pile peut varier entre 10 et 12 m : valeurs qui peuvent être un ordre de grandeur pour les grandes rivières. Les Espagnols ont effectué des mesures au moment de la crue au niveau de la pile de l'ancien Pont sur l'Oued LOUKKOS à LARACHE : la profondeur d'affouillement déterminée dont la valeur est de 14 m n'est pas très supérieure aux valeurs déterminées par SOGREAH pour l'Oued SOUSS.

En utilisant les formules empiriques conçues pour les rivières américaines (Colorado, Mississipi...) nous avons certainement surestimé l'affouillement des lits de rivières marocaines. Et nous devons signaler que pendant les Trente dernières années aucun nouveau pont n'a fait l'objet de dégradations causées par un affouillement.

Dans le passé, les anciennes constructions ont essayé d'éviter les catastrophes causées par les affouillements en adoptant un emplacement correct de l'ouvrage en prévoyant des protections qui sont parfois exagérées. Par contre pendant les trente dernières années nous n'avons pas essayé d'éviter les affouillements mais plutôt de s'adapter à ce phénomène en prévoyant des dispositions constructives (fondations résistantes) propres pour assurer en toutes circonstances la stabilité des fondations par conséquent de l'ouvrage.

V - SYSTEMES DE FONDATION ET LEUR EVOLUTION

La conception d'un Pont ne peut être scindée de celle des fondations des piles et des culées. Autrement dit, le type de fondation influe beaucoup sur la conception de la superstructure. Et le type de fondation dépend, à son tour de la structure géologique, des caractéristiques mécaniques et aussi de la technique de mise en place de ces fondations. Donc, la résistance du sol et le type de fondation choisi influent beaucoup sur le choix du système et de la structure porteuse du pont.

La conception des fondations a connu une certaine évolution à travers les différentes époques et varie aussi d'une région, à l'autre.

Si les modes de fondation sur pieux en bois pour les anciens ponts et aussi ceux qui ont été construits dans la 1ère décennie du 20ème siècle ont été les plus fréquents, de nombreux ponts ont été fondés superficiellement parfois même en milieu affouillable, sans doute par souci d'économie mais aussi par mal connaissance du régime hydraulique des bassins versants.

Dans le cas des anciens ouvrages, comme pour les ouvrages modernes, on distingue trois types de fondations, utilisés au MAROC:

- Fondations superficielles et semi-profondes
- Fondation sur pieux qui peuvent être :
 - . en bois
 - . en Béton Armé (pieux battus ou forés)
- Fondation sur caissons hâvés.

Le système de fondation sur caisson à air comprimé n'est pas connu au MAROC

Les fondations sur pieux en bois, utilisées pour les anciens ponts, est une technique qui a été mise au point au temps des Romains. Ce mode de fondation a été utilisé jusqu'au milieu du XIX Siècle. En général, ce sont des pieux de longueur

relativement faible qui n'excède pas 10 m, et de diamètre compris entre 25 et 35 cm. Le niveau supérieur des pieux était au niveau d'étayage couronné par une plateforme en planche sur laquelle était édifié l'appui du pont. Les groupes des pieux étaient protégés par des enrochements ou par batardeau rempli d'enrochements

Des exemples de tels ouvrages qui sont encore en circulation sont très rares au MAROC.

Les pieux ou barrettes forés, sont les instruments modernes des fondations profondes. Au MAROC, les premiers pieux forés, moulés et jointifs, ont été exécutés en 1955 comme fondation pour le Pont MOULAY HASSAN à RABAT. Le diamètre de ces pieux forés varie de 56 à 120 cm. Les barrettes sont de forme rectangulaires de dimensions 60 x 270 cm ou 80 x 270 cm. Les longueurs exécutées varient en général entre 12 et 30 m. Le système de fondations sur barrettes a été pour la première fois utilisé en 1975 pour le pont ferriviaire franchissant OUED CHERRAT. pour le nouveau Pont Routier sur Oued BOU-REGREG nous avons des fondations sur barrettes d'une section 60 x 270 sur une profondeur allant jusqu'à 41 m : valeur record pour le MAROC.

Les caissons havés construits au MAROC sont de forme rectangulaires, mono ou bi-cellulaire, mais on peut aussi trouver des formes circulaires ou polygonales le plus long caisson a été réalisé pour le nouveau pont sur l'OUED LOUKKOS à LARACHE durant la période 1966-1967 avec une longueur de 20,00m

Au début de cet exposé nous avons signalé que le sol joue un rôle déterminant dans le choix du type de fondation et par conséquent il a une influence décisive sur la conception de l'ouvrage. Pour ce, nous allons rappeler quelques principes dont certains qui datent de nos ancêtres et qui sont valables encore:

- Les Romains savaient qu'un Pont Voûte doit être fondé sur un sol dur et indéformable.

- Pour éviter les grands problèmes causés par les crues et l'affouillement du sol mobile, la meilleure implantation du pont sera là où l'affouillement est réduit au minimum : c'est au niveau de la zone d'alignement entre les deux courbes en S... où il y a souvent un remblaiement au lieu d'un affouillement.

- Dans le cas d'un sol déformable, limon, vase ou argile gonflant, il faut toujours éviter les structures (multi) hyperstatiques, parce que, en cas de tassement différentiel, se développent dans la structure des sollicitations (moments, efforts tranchants et efforts normaux) pour lesquelles cette structure n'a pas été calculée sachant que pour chaque

hyperstaticité supplémentaire, on aura un problème de plus. D'où la nécessité d'éviter des systèmes hyperstatiques en présence d'un sol de fondation susceptible de faire l'objet d'un tassement. Bien sûr, en cas de faible tassement (quelques centimètres), et pour le cas des nouvelles constructions en phase d'étude, on peut prévoir des renforcements en armatures pour reprendre les efforts dus à ces faibles tassements différentiels.

-Après la deuxième guerre mondiale, le développement technique s'est accompagné rapidement d'idées innovatrices dans tous les domaines, en particulier dans le domaine géotechnique et des études de fondation des ponts. Les nouvelles méthodes de calcul qui tiennent compte des déformations de la structure de fondation profonde ont permis de faire des économies importantes au niveau de ces fondations.

-L'utilisation de pieux de grand diamètre (au MAROC $\varnothing$ max = 1,20 m) et des barrettes qui offrent une résistance meilleure aux efforts horizontaux dus aux poussées des terres et à la pression de l'eau, a permis de faire des économies substantielles particulièrement au niveau propre des fondations et aussi, au niveau de la conception des piles et culées. Les pieux obliques ont presque disparu et le nombre de pieux pour une même fondation a nettement diminué.

-A titre de comparaison, nous citons l'exemple des Ponts sur l'Oued BOUREGREG: l'ancien Pont MOULAY HASSAN avait pour système de fondation 12 pieux verticaux et 8 pieux inclinés de diamètre $\varnothing$ 56 cm par pile. Par contre les piles du nouveau pont sont fondées sur 4 barrettes de dimension 80/270 tous verticaux.

-Durant les Vingt dernières années, tous les Ponts franchissant des cours d'eau sont étudiés dans cette optique pour pouvoir résister sans dégât à toutes les crues de projet.

B - TECHNIQUES DE CONSTRUCTION :

Le MAROC dispose d'un patrimoine d'ouvrages d'art de construction assez récent. Les ponts construits avant l'indépendance sont des anciens ouvrages déjà épuisés à cause de la dégradation continue. Les ponts construits après l'indépendance ont été réalisés par des techniques modernes. La configuration des sites, la longueur et la hauteur des brèches à franchir sont généralement de dimensions moyennes, c'est pourquoi les types d'ouvrages adoptés sont en général des ponts à une ou plusieurs travées en béton armé ou en béton précontraint.

Les longueurs de travées dépassent rarement 40 m. Les structures métalliques, non compétitives pour les petites

Le nombre de ponts construits par an et qui reste faible (10 ouvrages dont la longueur totale dépasse 15 m) n'a pas permis le développement des nouvelles techniques de construction. Outre la technique classique de bétonnage sur échafaudage et de préfabrication des poutres en béton précontraint, il s'est développé dans les deux dernières années la technique de poussage

des poutres caissons en béton précontraint et qui a permis de passer des travées de portée maximale de 40 m à des portées de 50 - 70 et 70 m.

I - LES TECHNIQUES COURAMMENT UTILISEES :

1 - PONTS COULES EN PLACE SUR ECHAFFAUDAGE :

Cette technique qui nécessite peu de matériel, est la plus utilisée pour la plupart des ouvrages d'art, car :

- Les régimes des Oueds Marocains présentent un écoulement seulement en lit mineur, s'il n'y a pas absence totale de courant d'eau, sur une période d'au moins 6 mois. Ceci donne la possibilité d'exécuter des tabliers en béton armé et en béton précontraint sur des échaffaudages basés sur le lit de l'Oued.

- Les niveaux des intrados de ces ponts sont en général compris entre 3 et 10 m au dessus de derrain naturel.

La technique de construction sur échaffaudage est la suivante :

- Aménagement d'une plateforme au niveau du lit de l'Oued constituée d'un tout-venant compacté sur lequel seront disposés des madriers qui forment l'assise de l'échaffaudage.

- Mise en place d'échaffaudage constitué généralement d'éléments triangulaires de type P.A.L ou tubulaire s'emboitant les uns dans les autres. Les montants sont espacés de 1,60 m. Chacune des tours obtenues assure son propre contreventement tandis que le contreventement de l'ensemble des tours est assuré par des tubes 40/49. Sur chacun des montants, on dispose des fourches à vérin pour supporter des files, de profil IPN sur lesquels seront posés des madriers et des planches qui forment la plateforme de bétonnage.

Les avantages de ce procédé de construction sont les suivants:

1- Possibilité de location de tous le matériel d'échaffaudage pour la durée de l'exécution du tablier en évitant un investissement pour un matériel coûteux qui demande une utilisation permanente pour assurer son amortissement.

2- Facilité et rapidité de mise en place d'un échaffaudage ne nécessitant pas une main d'oeuvre qualifiée..

3- Permet la réalisation d'ouvrage isohyper-statiques comme ponts dalles, ponts à poutres (ordinaires ou à caissons), en B.A ou en B.P.

4- Dans le cas de pont à poutres isostatiques ou parfois à poutres hyperstatiques il n'est pas nécessaire de disposer d'échaffaudage sous la totalité de l'ouvrage.

En cas de poutres isostatiques en béton précontraint, une seule ligne de tour PAL par travée suffit. En effet le bétonnage des poutres est réalisé dans l'axe de l'ouvrage, puis celles-ci

sont ripées à leurs places définitives à l'aide de vérins prenant appui sur les chevêtres des piles et culées.

Domaine d'emploi : D'après ce qui précède cette technique de construction peut être utilisée pour :

1- Les ponts franchissant des Oueds secs pendant une durée de six mois de l'année ou en cas de nécessité où il est possible de dégager un gabarit pour permettre le passage du débit d'étiage.

2- Les longs viaducs traversant des vallées sèches en appliquant la répétition du coffrage d'échaffaudage.

3- Tous les types de passage supérieurs, passages inférieurs et divers types d'échangeurs.

4- Les ponts caissons hyperstatiques d'une longueur limitée à 80 m. Au dessus de cette longueur et compte tenu de la quantité de coffrage à mettre en place il est plus intéressant d'adopter un autre procédé de construction ou un autre type d'ouvrage.

5- Les ponts à poutres isostatiques (et dont la longueur totale est supérieure à 80 m) réalisable par réutilisation du coffrage.

6- Les ponts dont la hauteur des piles ne dépasse pas 10,00 m sinon la quantité d'échaffaudage à mettre en place est de nouveau trop importante compte tenu du contreventement à assurer.

2 - Ponts à Poutres Préfabriquées :

Cette technique de construction était développée pour résoudre le problème "Industrialisation" de la production d'un grand nombre de poutres par préfabrication qui permet un gain de temps et améliore la qualité de production.

Les poutres préfabriquées peuvent être en B.A. ou en B.P. Leur mise en place se fait généralement au moyen d'une poutre en treillis métallique dite de lancement.

Les systèmes avec les poutres lancées sont utilisés souvent pour des poutres préfabriquées de longueur variant de 20 à 40 m.

Dans le cas de poutres de faible longueur en B.A. ou éventuellement poutrelle en B.P. par des cables adhérents donc de poids total relativement faible, la pose peut se faire généralement au moyen de grues de levage suffisamment puissantes.

L'avantage de cette technique de construction est la réduction du temps de construction en permettant de procéder parallèlement à la réalisation des fondations et des appuis de l'ouvrage, ce que la technique du coulage sur cintre ne permet pas. D'après les entreprises qui utilisent ce système le gain de temps peut être évalué à 20% du délai nécessaire à la réalisation du même ouvrage par le procédé de construction sur cintre.

Le procédé de préfabrication exige, dès le démarrage, des travaux importants comme l'aménagement d'une plateforme de préfabrication suffisamment grande pour l'installation du chantier de préfabrication et permettre aussi le stockage des poutres préfabriquées.

Le bétonnage se fait habituellement au moyen de bétonnières d'une capacité de 500 Litres ce qui donne la possibilité de bétonner une poutre classique de 70 tonnes (30 m^3 de béton) pour une durée de 3 à 4 heures, soit une cadence de $8 \text{ m}^3/\text{H}.$

Trois jours après le bétonnage, la première mise en tension de quelques câbles est effectuée pour pouvoir libérer les coffrages sous conditions qu'à cet âge le béton atteigne une résistance suffisante pour supporter la 1ère précontrainte. Les poutres ainsi fabriquées sont stockées sur l'aire de préfabrication.

Vient ensuite l'opération de mise en place des poutres sur les appuis par l'intermédiaire de la poutre de lancement, la mise en place des prédalles, le ferrailage et le bétonnage du hourdis et enfin la mise en tension du 2ème groupe de cables.

La technique des ponts à poutres préfabriquées précontraintes a atteint depuis longtemps son degré de maturité ce qui en fait toujours une solution sûre et économique. Actuellement cette technique de construction est de plus en plus menacée par les nouvelles techniques offrant des portées par travée dépassant 40 m, tels que le procédé de construction par poussage ou le procédé de construction à l'aide de voussoirs préfabriqués assemblés par encorbellement.

PONTS EN B.P. LANCES PAR POUSSAGE :

Le lancement par poussage est une méthode de construction de ponts hautement mécanisée dont l'utilisation se développe depuis peu au MAROC. Elle consiste à construire le tablier d'un ouvrage par tronçons successifs sur une aire de fabrication fixe située à l'arrière de l'une des culées et à amener progressivement le tablier à sa position définitive par poussage.

Cette technique est appliquée à l'étranger depuis de nombreuses années pour la construction des ponts métalliques. Rappelons que le métal est un matériau apte à travailler à la compression et à la traction, ce qui est très important pour la technique de poussage.

Il fallait attendre l'apparition du béton précontraint pour qu'on puisse appliquer le système de poussage aux structures en béton.

Les principaux avantages de ce mode de construction sont les suivants :

- Pas d'étalement : Ceci est particulièrement intéressant lorsque l'ouvrage à construire est situé en milieu urbain, franchissant un cours d'eau, des voies de circulation .

-Construction à terre : La totalité du tablier est réalisée à "hauteur d'homme " sur les remblais d'accès aux culées.

-Ne nécessite pas un matériel très coûteux pour le poussage du tablier. Ce poussage s'effectue au moyen de vérins de traction et de levage, et de plaques d'appuis Inox. Les pompes et les circuits hydrauliques sont ceux qui sont utilisés pour la mise en oeuvre de la précontrainte.

-Rapidité d'exécution : La vitesse de translation du tablier est de l'ordre de 8m/heure. Les plaques de glissement entraînées par la translation du tablier sont récupérées à l'aval de chaque appui et sont aussitôt remplacées à l'amont.

-Economie : D'après l'expérience en FRANCE, il a été constaté pour les ouvrages exécutés que l'économie sur le tablier variait de 15% à 25 % suivant les cas considérés.

L'amortissement des installations et du matériel destinés spécialement au poussage est d'autant plus important que le nombre de travées est plus élevé.

Le premier pont en béton précontraint construit par la méthode de poussage se situe à MCHRA EL OMRI (CT.6212) sur l'Oued OUM ER R'BIA, c'est un pont d'une longueur de 140m. Le tablier est constitué d'une poutre, caisson mono-cellulaire continue sur 3 travées : 35+70+35 m avec une plateforme de 8,00 m. L'ouvrage a été réalisé en 1971.

Récemment ont été construits par le même procédé les deux ponts se trouvant sur la route d'accès à l'usine hydroélectrique d'AMOUGGUEZ : pont franchissant Oued LAKHDAR d'une longueur totale de 26,75 + 53,50 + 26,75 = 108,20m, et pont de taît de 35m. Le premier a été construit par poussage de deux cotés avec clavage au milieu de l'ouvrage. Le deuxième a été construit par poussage d'un seul côté en utilisant une pile provisoire.

Un autre pont et qui est prévu d'être terminé en 1987 est celui qui se trouve sur la déviation de la RP 39 à SELOUAN. Il est constitué de 3 travées 17,85 + 35,70 + 17,85 = 71,4m. C'est le premier ouvrage de ce type réalisé par une Entreprise Nationale.

Avec cette technique de construction par poussage des ponts le domaine d'application de la précontrainte devient plus important.

Les autres techniques de construction, par encorbellement ou par cintre autolancement ne sont pas encore entrées en application au MAROC.

La nouveauté qui a pris naissance en Europe depuis quelques années, est l'application de la précontrainte extérieure par les câbles galvanisés. Utilisée initialement à l'occasion de la réparation d'ouvrages, elle présente actuellement un intérêt pour les ouvrages neufs particulièrement pour les ponts construits par poussage.

La précontrainte extérieure apporte une amélioration générale de la qualité de l'ouvrage pour un coût global voisin de celui d'un ouvrage réalisé avec la précontrainte classique. L'avantage se trouve dans le domaine d'accessibilité des câbles en permettant une surveillance facile et la possibilité d'un remplacement facile en cas de nécessité.

La première utilisation des câbles galvanisés placés extérieurement est appliquée pour le pont LAKHDAR et le pont TAINIT situés sur l'accès à l'usine électrique d'AMOUGUEZ

L'emploi des câbles en acier galvanisé ne semble pas poser de problème pratique. En effet, la galvanisation assure normalement la protection des aciers de précontrainte contre la corrosion. Dans ce cas il est inutile de placer les câbles dans des gaines et les injecter. Il faut absolument que le câble galvanisé reste visible pour pouvoir contrôler facilement son état.

Les câbles galvanisés présentent l'inconvénient d'un coût supérieur à celui des câbles classiques et d'une légère réduction des caractéristiques mécaniques à cause d'un traitement thermique qui est en fait défavorable pour l'acier, et que les câbles doivent subir en cours de galvanisation.

La durabilité de la galvanisation n'est pas bien déterminée. certains spécialistes considèrent que la galvanisation disparaît au bout d'un temps relativement limité au moins dans certaines atmosphères particulièrement agressives. Il est évidemment nécessaire de ne pas multiplier beaucoup les réalisations de ce type tant que ce problème n'a pas reçu une réponse nette et que l'expérience des premiers ouvrages n'a pas encore démenti cette idée.

En cas de câbles galvanisés les ancrages doivent recevoir un traitement spécial pour deux raisons :

-Il faut assurer la protection contre la corrosion des pièces métalliques d'ancrage (qui peuvent être aussi galvanisées), et la protection des torons dont la galvanisation est nécessairement arrachée par les clavettes d'ancrage.

-Il est préférable de bloquer les torons à l'ancrage pour limiter la vibration et empêcher la phénomène de fatigue.

Pour cela certains constructeurs proposent d'injecter les ancrages soit à la graisse, soit à un coulis traditionnel.

C - ANALYSE CRITIQUE DANS LE DOMAINE DES OUVRAGES D'ART

Dans ce qui précède ont été évoqués plusieurs sujets qui traitent des différentes parties du domaine des ouvrages d'art au MAROC, particulièrement ce qui concerne :

- L'Evolution de la conception des ouvrages d'art
- L'Evolution de la qualité des matériaux de construction
- Les Techniques de construction.

L'accent a été mis particulièrement sur les problèmes que l'on rencontre très fréquemment et qui ont un rôle déterminant dans la stabilité de l'ouvrage. Parmi ces éléments on peut citer:

- L'hydrologie et les problèmes des crues

- Les fondations des ouvrages d'art dans les sols affouillables.

Ici, nous allons présenter une analyse critique de l'état des études et des techniques des ouvrages d'Art au MAROC.

Concernant les règlements d'étude et de construction des ouvrages d'Art au MAROC, plusieurs règlements ont été utilisés en parallèle, d'abord les anciens règlements portugais, puis Espagnols et récemment Français.

On trouve des ponts qui ont été calculés avec les règlements de fin du XIXème Siècle dans le type de surcharge était un chariot tiré par plusieurs rangs de chevaux. Après l'indépendance, ce sont les CPC Français qui sont devenus les règlements officiels pour tout le territoire Marocain. Pour ce qui est des nouveaux règlements et des CPC Marocains, nous en sommes au niveau des prévisions pour les années à venir parce que à ce jour les CPC Français sont toujours en vigueur au MAROC.

Nous ne saurions évoquer cet élément comme un facteur négatif car il est toujours préférable d'appliquer des règles sûres que de se lancer dans l'application de règlements nationaux qui ont besoin d'être encore bien étudiés et testés. Cependant, il y a possibilité en ce moment de créer un certain nombre des règles marocaines concernant le bois, le béton, le métal et les règles de construction qui s'adaptent bien aux conditions et à la technique de construction locale.

Concernant les règles de conception et de calculs des ouvrages d'art et particulièrement ce qui est relatif aux surcharges nous sommes appelés à intervenir à deux niveaux :

- 1-Il faut procéder d'abord à une classification des routes vis-à-vis des surcharges et particulièrement les surcharges militaires, Mc 120 et les convois exceptionnels.

En 1978, La décision a été prise par la D.R.C.R de procéder à un contrôle de tous les ponts se trouvant sur les routes principales et les routes secondaires afin de s'assurer de leur résistance vis-à-vis des surcharges Mc 120. Pour les surcharges exceptionnelles aucune précision n'a été donnée.

Partant de ce principe et pour pouvoir construire économiquement, il faudrait dans un premier temps, classer les routes suivant leur utilité :

- Routes de grande circulation (voies express et autoroutes) dont les ouvrages doivent être dimensionnés aux convois militaires et exceptionnels.

-Routes qui peuvent être exploitées par des convois militaires, pour lesquelles les ouvrages doivent être vérifiés aux surcharges militaires.

-Routes pour exploitation par des convois exceptionnels.

-Routes de faible trafic et routes économiques dont le type de surcharge peut être différent de surcharges réglementaires, à l'exception des routes stratégiques.

Dans le cas des routes à faible trafic et les routes économiques les surcharges (camion de 30 Tonnes, surcharge A et convoi militaire) peuvent être limitées à des valeurs plus réduites par exemple à 10,15 et éventuellement 20 T suivant l'importance de l'itinéraire.

2-Les règlements du Béton Armé et du Béton Précontraint actuels, sont basés sur la théorie classique des contraintes admissibles, ou "du coefficient de sécurité" qui présentent beaucoup d'inconvénients tels que : imprécisions de construction, dispersion des résultats de résistance des matériaux, durabilité d'ouvrage, etc...

La conception de détermination de la sécurité au moyen de coefficient de sécurité est basée sur une comparaison ou un rapport selon l'équation fondamentale : $R \leq S$, où R représente la résistance de la structure et S représente les sollicitations déterminantes engendrées par les actions sur la structure elle-même.

Depuis de longues années, l'insuffisance de la notion de contrainte pour assurer la sécurité des ouvrages a été reconnue.

La conception actuelle de la sécurité d'un ensemble recommandée par le CEB et la FIP est basée sur la théorie des probabilités dont les modèles mathématiques sont adaptés aux phénomènes réels. La notion de sécurité implique des notions de risques et d'erreurs. D'après les recommandations du CEB, il y a déjà plus de 10 ans, la méthode de calcul peut être définie comme une méthode semi-probabiliste d'états limites comprenant deux groupes, constitués :

-Par l'E.L.U qui sont l'ETAT limite de déformation et l'Etat limite de fissuration.

-Par l'E.L.U d'instabilité et l'E.L.U de rupture.

-Dans une structure, un E.L peut être atteint par suite de l'intervention des facteurs multiples aléatoires d'insécurité qui se combinent entre eux et qui ont leur origine dans :

-L'incertitude des valeurs déterminées quant à la résistance des matériaux (confection, mise en oeuvre, charges de longue durée, fragilité, etc.

- L'incertitude des caractéristiques géométriques de la structure et des sections de cette dernière.

- L'exactitude des actions appliquées.

Bien que les méthodes de justification des structures aux Etats limites aient été proposées par la D.R.C.R., l'application n'est pas encore en cours pour deux raisons:

- Formation des cadres, d'une part,
- Manque de règlement marocain, d'autre part.

Dans les grandes Ecoles des Ingénieurs : Mohammédia et Hassania, il y a déjà 3 à 4 ans, les Ingénieurs se forment pour appliquer les nouvelles méthodes de calculs qui tiennent compte des nouveaux règlements Français aux Etats limites, mais à cause du manque d'application dans la pratique, ceci prend la phase de l'oubli. En ce qui concerne le règlement, nous sommes obligés en ce moment d'appliquer les règles BPEL françaises.

Notons enfin que, la plus grande lacune au niveau de règlements pour la conception, l'étude et la construction des ouvrages d'art est le manque des règlements consacrés aux problèmes de fondations.

En ce qui concerne la conception des ouvrages d'art, leurs formes, et les structures adoptées, nous avons déjà mentionné dans la partie historique des ouvrages d'art, que l'on peut distinguer deux époques pour les ponts marocains :

- Les anciens ponts construits durant la 1^{ère} moitié de notre Siècle ont répondu aux besoins de transport de l'époque.

- Aujourd'hui, les nouvelles conditions du transport sont devenues tellement excessives à tel point qu'on est obligé de changer les conceptions, les formes des structures et les matériaux lesquels devenus plus compétitifs pour pouvoir satisfaire les nouvelles exigences.

Les ouvrages de la première moitié du siècle se sont caractérisés par les points suivants :

- Diversité des formes et des systèmes statiques mal adaptés à l'environnement, toujours perpendiculaires au sens de l'OUED ou de la voie ferrée. Ceci est avantageux pour l'emplacement du Pont mais présente parfois des inconvénients pour le tracé en faisant introduire des courbes en S. Les matériaux étaient toujours de qualité médiocre et on été ainsi, dans les zones d'une atmosphère agressive, la cause de dégradation et de vieillissement rapide.

- Fondations insuffisantes pour résister à toutes les actions particulièrement l'action des crues et des affouillements.

Pendant la deuxième période, profitant des progrès techniques dans le domaine de la construction l'administration a fourni beaucoup d'efforts pour éviter les dégradations remarquées sur les anciens ponts :

- Amélioration des caractéristiques des matériaux de construction grâce aux matériels de production qui se sont nettement améliorés et c'est dû aussi à un contrôle strict de matériaux pendant la construction.

- Amélioration du niveau des études des projets d'ouvrages d'art.

Cependant sur le plan hydrologique, et malgré les études lancées par l'Administration dans ce domaine, des difficultés subsistent encore pour pouvoir estimer avec un minimum de précision les crues correspondantes aux différents bassins versants. Les premières études restent insuffisantes et on est appelé à fournir beaucoup plus d'efforts surtout pour les zones du sud où les pluies sont rares mais violentes.

Actuellement pour pouvoir se justifier et répondre aux exigences des études et en raison du manque des études hydrologiques et des statistiques météorologiques les B.E. utilisent des formules souvent empiriques dont la validité et le domaine d'application ne correspondent pas parfaitement aux régions marocaines.

Pour pouvoir combler cette lacune nous proposons d'élargir le programme d'études hydrologiques à long terme, en procédant dans un premier temps à l'installation de stations météorologiques et hydrologiques dans toutes les régions où il n'y a pas de station d'enregistrement. Après une dizaine ou une vingtaine d'années d'observations, on pourra alors commencer les études hydrologiques en proposant certaines formules régionales pour les petits et les grands bassins versants.

Et, en procédant tous les dix ans à la correction de ces formules, nous arriverons après quelques dizaines d'années à une stabilisation des formules dont les résultats peuvent être définitifs.

Pour les régions où il existe déjà des stations d'enregistrements hydrologiques il faudrait lancer l'étude des formules régionales pour les petits et grands bassins versants. Comme il a été fait pour le bassin versant du SEBOU, la D.R.C.R a déjà programmé des études analogues pour les bassins versants du TENSIFT et du SOUSS.

Le même problème se pose pour l'estimation des affouillements. L'expérience a montré qu'il est difficile de mesurer le niveau des affouillements au moment de la crue. Des essais peuvent être réalisés sur modèle réduit pour divers cas de matériaux et de vitesses. Seulement les résultats de ces essais aboutissent à des formules valables dans des conditions bien précises, c'est la méthode que les instituts américains utilisent. Nous ne pouvons pas avancer une précision de 100%, mais c'est déjà beaucoup si l'on peut déterminer les limites maximales et minimales pour des conditions bien déterminées.

Et nous en venons enfin aux bureaux d'études. Juste après l'indépendance, les rares bureaux d'études spécialisés dans le domaine des ouvrages, d'art étaient des filiales des Sociétés d'engineering Françaises.

Avec le temps, ces bureaux d'études ont disparu et avec eux les cadres, étrangers pour la plupart, ont rejoint leurs pays d'origine. Vient après une période où le nombre de bureaux d'études marocains a augmenté d'une manière très remarquable. C'étaient en fait des bureaux topographiques, des bureaux pour les études routières, l'assainissement, le bâtiment mais rares étaient les bureaux d'études spécialisés dans les études des ouvrages d'art.

Aujourd'hui et à cause du manque d'investissement, dans la construction des ouvrages d'art, les bureaux d'études ne s'intéressent pas beaucoup pour ce type de construction qui exige des cadres spécialisés. Et nous pouvons dire que le niveau des études des ouvrages d'art reste en général très insatisfaisant ce qui présente de sérieuses difficultés pour l'Administration. Très souvent les études préliminaires doivent se faire deux à trois fois.

Pour éviter de tels problèmes, il faut que l'administration procède à un classement de bureaux d'études suivant leurs aptitudes concernant les ouvrages d'art, de manière à améliorer les études des Ponts.

Notons enfin qu'il y a tout de même des oeuvres qui ont été élaborées tels que les dossiers des ouvrages d'art types qui font partie du patrimoine réalisé dans les dix dernières années.

Ces dossiers, qui sont au nombre de 8, ont été établis grâce aux avantages offerts par le calcul électronique. Les objectifs visés étaient multiples à savoir :

- Normalisation des études et des techniques de construction,
- Aide à la planification par les données d'avant - métré contenues dans les dossiers,
- Amélioration de la qualité technique des études par la rationalisation et l'harmonisation de la conception d'ouvrage d'art,
- Réduction des délais d'études
- Réduction des coûts d'études.

Par conséquent, nous sommes toujours appelés à les exploiter davantage.

Or jusqu'à nos jours, ces dossiers types des O.A n'ont pas eu le succès escompté. Seuls ont été bien utilisés par les bureaux d'étude de l'Administration les deux dossiers types suivants :

- Radiers submersibles ordinaires ou évidés
- Balots caecres simples ou doubles.

Le fait que ces dossiers types ne soient pas suffisamment exploités est dû à plusieurs causes, d'abord, il appartient à l'Administration d'informer les bureaux d'études de la qualité de ces dossiers et de leur utilisation. Les bureaux d'études doivent, de leur côté, changer leur technique d'étude et de conception de ponts en utilisant les dossiers types de la DRCR et en les adaptant au site et à son environnement.

Enfin, la partie de l'étude concernant les protections présente un élément important de la stabilité des ouvrages, des berges et des autres parties qui risquent d'être attaquées par les courants d'eau. On peut constater que les études hydrauliques s'occupent rarement de ces problèmes qui sont pourtant déterminants pour la longévité de l'ouvrage.

Pour ce qui est de la protection des tabliers contre l'action dégradante des eaux pluviales, il faut en tenir compte déjà au stade de l'étude pour assurer ainsi l'étanchéité des joints de dilatation, l'emplacement des gargouilles et des appareils d'appuis en néoprène qui seront dimensionnés pour pouvoir résister à tous les déplacements qu'ils soient lents ou instantanés. Enfin en guise de recommandation concernant les études, il nous semble utile de lancer l'idée suivante :

-Il s'agit dans le cas de recherche de conception d'un pont important que l'Administration lance un concours général pour l'ouvrage en question en prévoyant 3 prix et une ou plusieurs récompenses, dans lequel tous les Ingénieurs résidant au MAROC auront le droit de se présenter avec une ou plusieurs solutions, qui seront, bien entendu, chiffrées.

Les résultats de ce concours pourront servir à l'Administration comme une base qui constitue les éléments essentiels pour continuer l'étude définitive de l'ouvrage et de choisir un système le plus adapté au site.

Ce système de préétude intéressera certainement les Ingénieurs et donnera de très bons résultats, meilleurs que ceux que l'on a lorsqu'on engage un bureau d'études, parfois insuffisamment compétent en matière des grands ponts et qui aura été retenu pour la seule raison qu'il a présenté le prix d'étude le moins cher.

Enfin pour compléter ce panorama, il conviendrait de dire un mot au sujet de la situation des entreprises de construction des ponts. Il s'agit des entreprises spécialisées ou non, disposant de moyens pour réaliser des ouvrages d'art.

Vu le marché qui reste très restreint au niveau de la construction des ouvrages d'art (80 ouvrages construits en 1974 et 1983) le nombre des entreprises ayant quelques références dans ce domaine ne dépasse pas la demi-douzaine. La plupart de ces entreprises sont de création récentes seules 2 d'entre elles ont été créées avant 1970.

A cause des investissements relativement faibles dans le domaine des ouvrages d'art, les entreprises se sont orientées plus vers d'autres types de construction comme le bâtiment, les ouvrages hydrauliques et génie Civil divers.

Depuis une décennie les entreprises nationales ont tendance à s'organiser mieux et se structurent progressivement. Certaines d'entre elles disposent de bureau d'étude leur permettant de faire des offres avec des variantes différentes de celles de l'Administration.

Pour l'une d'entre elles spécialisée dans la construction des ouvrages d'art, un effort réel d'acquisition des techniques nouvelles est fourni que ce soit en matière de conception ou des techniques de réalisation et ce malgré l'étroitesse du marché.

enfin, nous nous devons avant de terminer le chapitre d'analyse critique de signaler la nécessité de prendre plus en compte l'esprit esthétique dans la conception des ouvrages d'art.

Très souvent, on entend dire "Pourquoi chercher l'esthétique d'un pont, ça coûte cher"

Pendant longtemps régnait dans l'imagination populaire l'idée que l'art de l'Ingénieur est l'art de réaliser des merveilles techniques dans la course mondiale au record de longueur et de hauteur. La beauté devient alors souvent synonyme de prodige technique ou tout au moins, la conséquence naturelle d'une bonne utilisation des matériaux et de la technique.

"La beauté", selon l'avis du philosophe DAVIS HUME, se traduit " par la sensibilité de l'homme". D'après EMANUEL KANT "La beauté est une partie intégrante de l'objet".

L'idée de FRIZ LEONARD, professeur à Stuttgart va dans le même sens en exprimant qu'il suffit de regarder autour de soi pour se rendre compte que l'aspect de certaines construction laisse à désirer".

Donc l'esthétique est un élément inséparable de l'ouvrage d'art. la conception d'un pont doit, dans un premier temps, s'inspirer du cadre naturel qui l'entoure. C'est une règle de l'art à laquelle sont restées fidèles les constructions des ponts de tous les temps. la forme, la structure et le matériau sont des éléments inséparables de la création, Le pont doit avoir non seulement sa propre beauté, tant par ses lignes générales que par l'aspect des surfaces visibles, mais il doit aussi s'insérer harmonieusement dans le paysage qui peut être un décor urbain ou un site naturel.

Depuis que s'est généralisée l'industrialisation et la production en série dans le monde contemporain, l'art de l'Ingénieur, qui était souvent lié aux prodiges techniques, est devenu évocateur d'uniformité et de manque de créativité.

Il faut donc que L'Ingénieur veuille se libérer des formes

données par la tradition pour arriver en toute liberté, le regard toujours fixé sur l'ensemble à utiliser les matières les plus avantageuses et les plus parfaites, pour parvenir alors à un style nouveau qui est la création d'éléments esthétiques s'intégrant harmonieusement dans le site qui les entoure, sans avoir un impact important sur le prix de l'ouvrage.

Donc, l'Ingénieur de conception des ponts qui est aussi l'homme, se trouve aujourd'hui pris entre deux exigences opposées, l'une relevant de l'imagination créatrice, répondant à un problème original, bien déterminé dans le temps et dans l'espace, l'autre demandant parfois tout autant d'invention et s'attachant à un produit de caractère répétitif, à un prototype pouvant s'adapter à un maximum de cas et de lieux.

Pour assurer toutes ces créations, les Ingénieurs doivent avant tout reconnaître que "la naissance d'un ensemble structural est le résultat d'un processus créateur fusion de l'art et de la technique, de l'ingéniosité et de l'étude "(TOROJA).et que "Les propositions sont l'affaire à la fois de science et de l'art "(CESAR DALY).

La beauté, dans une oeuvre, résulte pour une très large partie de l'intégration de multiples fonctions.

Certains voient le style à travers le matériau dont "Les formes générales dépendent de la technique de construction c'est à dire des qualités structurales d'un matériau donné".

Qu'en est il au MAROC de la prise en compte des considérations esthétiques? Force est de constater que l'aspect architectural des ouvrages est rarement pris en compte lors de la conception de ceux-ci.

Pourtant, nombres d'ouvrages ont été réalisés dans les zones urbaines ou dans des sites dits touristiques en raison de leur beauté naturelle, sans que les maitres d'ouvrages, sans doute faute de moyens et de compétences locales, n'aient pu faire intervenir des architectes et des bureaux d'études spécialisés dans les études d'impact et d'intégration des ouvrages dans le milieu environnant.

Il serait temps de sensibiliser tous les maitres d'ouvrages et les différents intervenants quant à la nécessité de prise en compte de la qualité de l'aspect architectural et de l'insertion harmonieuse dans le site des ouvrages à construire étant bien entendu que le beau n'est pas forcément synonyme de surcoût et que la qualité au sens large soit englober le technique, l'esthétique et l'économie.

D - PERSPECTIVES

Le domaine des ouvrages d'art connaît, à l'échelon international depuis une vingtaine d'années, une évolution importante, grâce aux progrès techniques remarquables réalisés dans plusieurs chapitres.

Dans la suite de cet exposé, nous donnerons un aperçu sur les principaux facteurs de ce développement, les tendances actuelles dans le monde en matière d'ouvrages d'art et nous terminerons par les perspectives au MAROC .

I - FACTEURS DE DEVELOPPEMENT

1 - Les matériaux ont fait l'objet d'une meilleure connaissance (armatures de précontrainte, adjuvant de béton etc...) et de produits nouveaux sont apparus (produits d'injection notamment : graisse, cire, granulats légers, béton à haute performance, etc...)

2 - L'informatique a apporté beaucoup : développement de la CAO (conception assistée par ordinateur) et DAO (dessin assisté par ordinateur)
Une transformation profonde s'est opérée au niveau du calcul, de la gestion et de l'instrumentation. pour les calculs des ouvrages.

On raisonne maintenant avec une modélisation spatiale, donc plus rigoureuse et non plus avec des structures planes et linéaires. Nous citerons deux programmes de calcul des structures appliqués récemment, aux ouvrages : l'américain STRUDEL et le français ROSALIE, programme aux éléments finis développé au LCPC.

Ceci permet d'optimiser les structures de façon à obtenir le coût minimal, le suivi en cours de construction où en phase de service peut être assuré par une instrumentation appropriée, ce qui conduit à une meilleure qualité de l'ouvrage.

3 - L'analyse approfondie du comportement des structures existantes, la construction en Laboratoire de maquettes d'essais.

Les enseignements tirés à la suite de désordres survenus ont permis l'élaboration de nouvelles théories et conduit à la révision des règlements techniques en vue de leur perfectionnement.

Ainsi est apparue une réglementation pour la conception, le calcul, l'exécution et la maintenance des ouvrages en béton.

A titre d'exemple ; le nouveau code appliqué obligatoirement en FRANCE depuis JANVIER 1986 :

- Titre I du fascicule 62 du CCTG (Cahier des Clauses Techniques Générales appliquée aux marchés de l'Etat) composé du

* BAEL 83 (conception et calcul de ouvrages et construction en Béton Armé)

- BPEL 83 (conception et calcul des ouvrages et construction en béton précontraint)

- Fascicule 65 du CCTG (exécution des ouvrages de génie civil en béton armé ou béton précontraint)

- Fascicule 31

(Ponts en béton armé)

- Fascicule 32

(Ponts en béton précontraint)

de l'instruction pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art.

Cette réglementation conçue pour mieux approcher le fonctionnement réel des ouvrages a pour objectif principal l'amélioration de la qualité et de la sécurité.

4 - Cette évolution dans les pays occidentaux a été rendue possible grâce à l'instauration d'une politique encourageant les recherches pour l'innovation.

Des prix pour l'innovation sont discernés par des organisations professionnelles (exemple prix de la FNTF Fédération Nationale des Travaux Publics en FRANCE).

Ont été créés également des organismes qui aident financièrement les chercheurs (ANVAR en FRANCE). Tout a été mis en oeuvre pour favoriser les efforts de recherches des entreprises, améliorer leur compétitivité face à la concurrence internationale de plus en plus vive en cette période de crise.

II - LES NOUVELLES FAMILLES DE PONTS

Un courant d'innovation dans la conception et les méthodes de construction des ouvrages a vu le jour dans les pays développés (ALLEMAGNE, ETATS UNIS, FRANCE, ITALIE etc...), c'est ainsi que des familles de nouveaux ponts sont apparues :

1 - Pont mis en place par poussage ou rotation

Avantages : rapidité d'exécution, économie de moyens et surtout dispense d'échafaudage ou cintre coûteux dans des sites difficiles, 4 ponts de ce type sont réalisés ou en cours de réalisation au MAROC (pont sur Oum ERR'bia, Les 2 Ponts d'Amouggez et l'ouvrage de Selouane).

2 - Pont à précontrainte extérieure

L'utilisation de la précontrainte extérieure, avec les nouvelles dispositions réglementaires du BPEL 83 en ce qui concerne les cisaillements d'effort tranchant permettent une réduction importante du béton du tablier (de 15 à 20 % par rapport aux dimensionnements classiques. On peut citer quelques réalisations :

- Ponts de keys de Floride : Longkey Seven Mile aux Etat Unis

- Ouvrage A 33 de L'Autoroute du littoral à Marseille :

câbles injectés à la cire sous gaines en polyéthylène haute densité, remplaçables.

- Ponts d'Amouggez cités plus haut :

câbles galvanisés laissés nus, remplaçables.

3 - Pont en béton à granulats légers

Pont de la flèche en FRANCE.

4 - Pont caisson à âme en treillis de béton

La réalisation la plus importante est celle au Koweït à l'Ile de Bubiyan.

Cette solution soulève des objections, On craint une fissuration des barres du treillis préjudiciable pour la durabilité de l'ouvrage. On lui préfère la famille suivante :

5 - Pont à structure composites acier-béton

Pont caisson dont les âmes sont constituées par des âmes métalliques raidies ou par des tôles plissées.

6 - Pont caisson dont on préfabrique les âmes

Le reste du caisson est coulé sur place

Exemple : Pont de Bretonne - Viaduc de Clichy.

Dans toutes ces solutions on cherche soit à réduire l'importance des moyens de production (matériel, coffrages et main d'oeuvre) soit à alléger les sections (diminuer le nombre des âmes, les amincir ou les remplacer par des structures plus légères).

Nous citerons une réalisation en Allemagne : Un caisson de 25 m de largeur à 2 âmes dont le hourdis en console est porté par des bracons inclinés (ERSCHACHTALDRUKE).

III - PERSPECTIVES AU MAROC

Il est toujours délicat et un peu hasardeux de vouloir préjuger de l'avenir, nous allons pourtant essayer de décrire ce que seront, à nos yeux, les perspectives de développement de la conception et des méthodes d'exécution des ouvrages d'art, dans les quelques années à venir, au Maroc.

Tout d'abord, nous pensons que les réalisations dans ce domaine resteront modérées (moins de dix ouvrages par an au maximum). Les principaux programmes routiers annoncés concernent les ponts de :

- La voie de contournement de Rabat
- La liaison Kénitra-Larache
- Les traversées de la vallée de Ouisslam dans la région de Meknes, et

- Le franchissement d'Oued Oum Errabia à Nchraa ben abbou.

Compte tenu de ce champ d'activité réduit les entreprises de travaux publics au Maroc déjà en difficulté, ne pourront pas faire les investissements que nécessitent le développement de nouvelles techniques.

On continuera donc probablement à concevoir les mêmes types d'ouvrage et utiliser les méthodes traditionnelles d'exécution (échafaudage sur place, préfabrication des poutres, mise en place par lancement et les méthodes similaires). Toutefois certaines techniques nouvelles telle que le poussage des ponts en béton précontraint des deux côtés ou l'utilisation de la précontrainte extérieure, récemment introduites dans le pays continueront à se développer et seront mieux maîtrisées. En effet ces techniques s'adaptent bien à la taille des ouvrages qui sont fréquemment rencontrés au Maroc et apportent une économie sensible dans ce domaine du fait du peu de moyens matériels qu'elles nécessitent et la réduction des délais de réalisation qu'elles permettent.

La technique d'encorbellements successifs non encore appliquée aux ouvrages du Maroc verra peut être le jour à l'occasion de l'édification du pont de Ouisslam qui aura à franchir une Vallée relativement assez profonde. Cependant cette solution hautement mécanisée, nécessitera d'autres réutilisations pour assurer son amortissement.

Quant aux ponts à haubans ou les ouvrages poussés d'un côté avec avant bec métallique, ils devront attendre la programmation de grands projets pour faire, peut être un jour, leur apparition.

Il convient, également, de noter le développement que connaîtront certainement les ouvrages urbains. En effet la poussée de l'urbanisation, que nous constatons va entraîner un accroissement des besoins en pont urbains, ouvrages particuliers sensibles aux choix des formes, élancement, corniches forme des piles etc...), d'autant plus que les idées en matière de qualité de l'aménagement urbain rencontrent de plus en plus d'échos favorables.

Ainsi, les questions d'esthétiques et d'intégration au site d'un ouvrage urbain seront probablement examinées avec plus de soin et on cessera de sacrifier l'esthétique au profit du seul critère d'économie, souvent retenu par le passé, pour le choix de la conception d'un ouvrage, étant entendu aussi que l'esthétique n'est pas synonyme de surcoût.

Enfin, nous ne pouvons pas ne pas évoquer la réglementation en matière de conception des O.A qui ne tardera pas à connaître de grandes mutations pour tenir compte de l'évolution de la normalisation internationale dans le domaine (introduction de la méthode aux états limites notamment).

Mais ce segment du savoir faire technique dans le domaine de la construction a besoin pour se développer, tant sur le plan de la conception que celui des techniques de réalisations, que la profession soit réglementée pour qu'elle permette le

développement de spécialistes sans lesquels on ne peut accéder à une quelconque maîtrise technologique et qui nous permettront de réaliser par nous mêmes nos grands ouvrages d'aujourd'hui et de demain.

IV - POUR UNE POLITIQUE D'INNOVATION.

Quels sont les éléments moteurs susceptibles de favoriser une promotion de la recherche pour l'innovation.

Nos entreprises de travaux publics sont encore jeunes. Jusqu'à une date récente les ouvrages étaient le domaine réservé des entreprises étrangères ou à encadrement étranger.

Leur domaine d'activité est diversifié : la plupart de ces entreprises construisent aussi bien des ouvrages, du génie civil d'usines ou des bâtiments.

La taille des ouvrages au Maroc et leur nombre ne justifie pas sur le plan d'économie des investissements en moyens d'études et de recherche coûteux.

Mais nos entreprises sont tenues d'être innovantes et performantes pour protéger le marché interne et aussi pour des objectifs, de réduction de coût, d'amélioration de qualité et de sécurité de nos ouvrages d'art.

Le soutien des autorités administratives nous paraît essentiel.

Voici quelques actions pour préparer le terrain :

-Tout d'abord une organisation de la profession (action déjà entreprise ces dernières années, mais il faut la poursuivre et la rendre opérationnelle.

-L'élaboration ou l'adoption d'une nouvelle réglementation en rapport avec l'évolution.

-Développer la formation continue et organiser des missions pour visiter des chantiers à l'Etranger pour suivre l'évolution technique.

-Multiplication de concours à l'occasion d'appel d'offre : condition nécessaire pour développer et maintenir un potentiel d'études.

-Développer l'outil informatique, particulièrement des logiciels de calculs et de conception. Créer et développer des Centres d'Essais et d'Expérimentation essais sur maquettes et sur produits locaux pour améliorer leurs performances.

Organisation de concours de techniques innovantes et adoption de procédures d'aide en faveur de la recherche,

-Concertation maître d'ouvrage et constructeurs pour proposer sur quelques thèmes, des solutions aux problèmes que pose l'édification et l'entretien des ouvrages d'art et du réseau routier au MAROC.

Information sur les techniques, matériaux et matériels innovants développés à l'étranger.

-Participation à des séminaires, colloques et organisations internationales qui touchent à ce domaine.

Ce sont là quelques actions qui doivent être menées conjointement par la profession et l'administration et qui nous paraissent devoir présider à la conception d'une politique d'innovation au MAROC.