

# **LA RÉHABILITATION D'UN RÉSEAU D'INFRASTRUCTURES : UNE VRAIE PROBLÉMATIQUE À L'HEURE OÙ DE NOUVELLES MÉTHODES PROPOSENT DES SOLUTIONS COMPÉTITIVES EN TERMES TECHNIQUE ET FINANCIER**

## **EXEMPLE DE LA DIRECTION DES ROUTES BULGARE**

**Alexandre CHAPERON**

ADVITAM

De l'Europe de l'Ouest à la Russie, les pays ont subi il y a quarante ans un important boom de construction. Depuis, les ouvrages d'art et les réseaux d'infrastructure construits à l'époque se sont dégradés, et la réparation de ces ouvrages est aujourd'hui devenue une problématique de fond, dans une Europe où le transport et les réseaux de communication sont de véritables défis économiques.

La question de fond d'un projet de réhabilitation globale n'est pas vraiment la détermination finale du budget à allouer, mais plutôt l'établissement d'une répartition efficace pour obtenir des actions optimisées, à la fois du point de vue technique et du point de vue économique.

L'adressage correct d'un tel budget nécessite une étude technique et organisationnelle approfondie, ainsi qu'une méthodologie efficace. Par quels ouvrages commencer ? Quel pourcentage allouer ? Quels outils mettre en œuvre ? Comment analyser les résultats et contrôler l'efficacité des méthodes ? Le projet présenté ici montre une réponse claire à cet ensemble de problématiques.

## **1. PRÉSENTATION DU PROJET**

La direction des routes bulgares et Advitam ont conjointement mis au point une solution adaptée à l'échelle nationale en 2003. Trois principaux axes structurent le projet :

- Un audit général normes en vigueur et du réseau d'infrastructures existant. La réalisation de l'audit implique l'implémentation d'une méthodologie pratique qui permet de déterminer dès le départ sa durée et son coût.
- Une évaluation générale de l'ensemble du réseau à l'aide d'indicateurs objectifs, mis en place grâce à des outils de synthèse informatisés.
- La mise en place d'un schéma directeur de maintenance, démarrant par la réhabilitation de quelques ouvrages sélectionnés, et conduisant à la mise en place progressive d'une gestion préventive généralisée à l'ensemble du réseau.

Les objectifs du plan de réhabilitation étaient donc les suivants :

- Réaliser l'audit et l'évaluation de l'état des ponts de plus de 20 mètres en Bulgarie,
- Faire ressortir les ouvrages non sécuritaires à court, moyen et long terme pour les usagers,
- Proposer des solutions de réparation, voire de remplacement, pour les ouvrages dans un état critique,
- Mettre en place un plan de gestion sur 10 ans (inspections, maintenance et réhabilitation) pour le réseau d'ouvrages, en incluant une mise à jour des normes d'inspection.

## **2. TRAVAUX PRÉPARATOIRES**

### **2.1. Le système d'information**

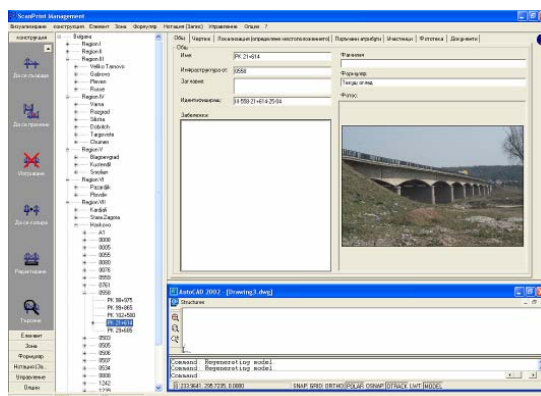
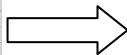
Le premier pas naturel vers la modernisation d'une pratique quelconque est la mise en place d'une base de données et d'un système informatif.

La base de données est une solution logique, qui permet d'organiser des quantités importantes d'information produites par les années successives d'inspection visuelle. Elle permet une organisation flexible des données, la réalisation de requêtes complexes et la production de rapports automatisés. Un choix essentiel dans la mise en place d'une base de données est la définition d'une organisation appropriée des tables de données, car ces tables constituent le squelette du système et conditionnent directement l'efficacité du système.

Le système de gestion de base de données ScanPrint® a été utilisé lors de la réalisation du projet.

## 2.2. Point de départ

La direction des routes bulgares (REA) a rassemblé dans un même fichier Excel diverses données concernant chaque ouvrage (région, département, route, point kilométrique, classe de route, type de structure, matériaux, données techniques de construction des ponts, etc.). Ce fichier a été réorganisé puis transféré dans la base de données.

[illegible]

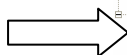
*Compilation Excel des données de départ*

Données de départ dans le système ScanPrint®

### 2.3. L'inventaire

L'inventaire est la base de la gestion d'un réseau. Il inclut des informations et une documentation sur chaque ouvrage, nécessaires à la réalisation des diagnostics de chacun d'entre eux ainsi qu'à l'analyse globale du réseau.

Dans la Norme Nationale Bulgare pour l'Inspection Technique et la Maintenance des Ponts et Chaussées, il est prévu un « passeport technique » pour chaque ouvrage, qui rassemble toutes ses données à la fois administratives et techniques. Le contenu du « passeport technique » a été refondu avec l'administration, adapté aux besoins actuels, puis implémenté dans le système ScanPrint. Le format d'édition officiel du Passeport Technique a été conservé et informatisé dans ScanPrint®. 284 champs à choix multiples ont été décrits et intégrés dans le passeport technique informatisé. Ils seront mis à jour avec des données complètes et actuelles pendant les inspections de routine.

[illegible]

|                                       |  |          |     |                                  |
|---------------------------------------|--|----------|-----|----------------------------------|
| * вази                                |  | *        | 14. | Хидроизолация                    |
| * класа                               |  | *        | 15. | Отводничеци                      |
| *< i>#bc Премостовано препятствие     |  | *        | 16. | Дилатационни Фуги                |
| * Брой отвори                         |  | *        | 17. | Антикорозионно покритие          |
| < i>#bc 12) дължина                   |  | *        | 18. | Връзна конструкция               |
| * Ширина на наст.                     |  | *        | 19. | Лагери                           |
| *< i>#bc Ширина м/у парапети          |  | *        | 20. | Стълбове                         |
| * Вървна конструкция                  |  | *        | 21. | Устои                            |
| * Долно конструкция                   |  | *        | 22. | Крила                            |
| *< i>#bc Година                       |  | *< i>#bc | 23. | Откоси и конуси                  |
| Техически Паспорт                     |  | *< i>#bc | 24. | Премостовано ирепятствие         |
| 1. Ширина                             |  | *        | 25. | Нивелачен репер                  |
| 2. Височин габарии                    |  | *        | 26. | Данни за проекта                 |
| < i>#bc 12) 3. товарносмост           |  | *        | 27. | Данни за строителството          |
| * 4. Постоянии ограничения за движени |  | *        | 28. | Година на въвеждане в експлозата |
| < i>#bc 12) 5. Обща дължина на моста  |  | *        | 29. | Реконструкция и основни ремонти  |
| * 6. Премостована илост               |  | *        | 30. | Основни прегледи и специални об  |
| < i>#bc 12) 7. Конструкции по моста   |  | *        | 31. | Особени събития                  |
| * 8. Обход на моста                   |  | *< i>#bc | 32. | Други данни                      |
| *< i>#bc 9. Ситуационно положение     |  |          |     |                                  |
| *< i>#bc 10. Нивелетно положение      |  |          |     |                                  |
| * 11. Предпазна ограда                |  |          |     |                                  |
| * Парапети                            |  |          |     |                                  |
| * 13. Настилка                        |  |          |     |                                  |

## Passeport technique (normatif)

### *Passeport technique adapte et informatise*

## 2.4. Le formulaire d'inspection

Comme pour le passeport technique, des formulaires d'inspection ont été extraits de la Norme Nationale. A l'origine, les formulaires d'inspection bulgares sont organisés par matériau puis par élément, et détaillent les points contrôle lors des inspections. Chaque point de contrôle correspond une pathologie possible.

Les formulaires n'employant pas un système de quantification objectif, chaque défaut entraîne une évaluation dépendante de l'inspecteur, et qui ne permet donc pas une analyse fiable de l'état réel de l'élément. De plus, la classification des formulaires par matériau (et non par fonction), ne permet pas une évaluation globale de l'ouvrage ; par exemple, la qualité du béton du tablier a dans ce cas autant d'importance que celle d'une culée.

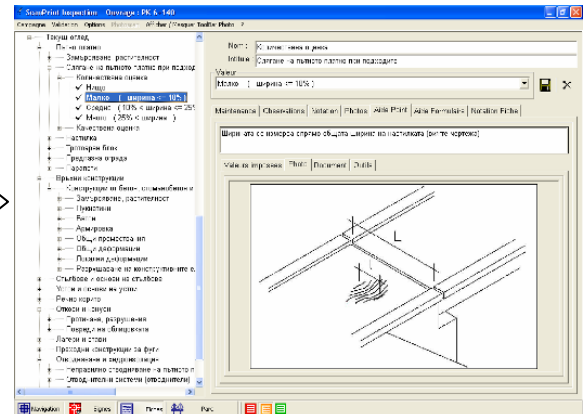
Les formulaires d'inspection ont été revus par le Laboratoire National Bulgare des Ponts et Chaussées, puis ont été informatisés dans ScanPrint® en trois étapes :

- La définition objective du système de quantification des défauts
- La réorganisation des formulaires d'inspection par type d'élément et par fonction (tablier, pile, culée, joint d'expansion, etc...) et leur subdivision par matériau. Cette re-décomposition a donné lieu à l'établissement de 13 nouveaux formulaires, intégrant chacun 90 points d'inspection.

- L'intégration en base de données de fichiers d'aide et de description documentée des pathologies, afin de venir en aide aux inspecteurs sur le terrain

| ОПИС НА НЕДОСТАТЪЦИТЕ                |                        |        |       |                      |       |
|--------------------------------------|------------------------|--------|-------|----------------------|-------|
| ЧАСТ НА МОСТА                        | КОЛИЧЕСТВЕНА<br>ОЦЕНКА |        |       | КАЧЕСТВЕНА<br>ОЦЕНКА |       |
|                                      | малко                  | средно | много | слабо                | силно |
| НЕДОСТАТЪК                           |                        |        |       |                      |       |
| 1. ПЪТНО ШАДЪНО                      |                        |        |       |                      |       |
| 1. Замяреност, растителност          |                        |        |       |                      |       |
| 2. Слагане на пътя при<br>подхождане |                        |        |       |                      |       |
| 3. Пътна настилка:                   |                        |        |       |                      |       |
| 3.1.Пукнатини                        |                        |        |       |                      |       |
| 3.2.Деформации                       |                        |        |       |                      |       |
| 3.3.Разрушения                       |                        |        |       |                      |       |
| 4. Тровоарен блок:                   |                        |        |       |                      |       |
| 4.1.Пукнатини                        |                        |        |       |                      |       |
| 4.2.Разрушения                       |                        |        |       |                      |       |
| 5. Препязни огради:                  |                        |        |       |                      |       |
| 5.1.Корозия                          |                        |        |       |                      |       |
| 5.2.Деформации                       |                        |        |       |                      |       |
| 5.3.Разрушения                       |                        |        |       |                      |       |

Formulaire d'inspection initial (normatif)



Formulaire d'inspection adapte et informatise

## 2.5. Librairie de medias et de documents

Les formulaires d'inspection et les passeports techniques ont été complétés par l'inclusion :

- D'une série de 13 photographies normalisées pour chaque ouvrage (vue générale, vue de la sous face du tablier, détail des appareils d'appui...)
- D'une liste type de documents pour chacune des structures (note de calculs, plans...)

Les photographies normalisées seront intégrées au moment des inspections de routine.

Les documents seront quant eux scannés ou informatisés à la main, puis intégrés au fur et à mesure par la Direction des Routes.

## 2.6. Formation

Huit équipes d'inspecteurs, composées chacune d'un inspecteur de la Direction des Routes et d'un inspecteur de Mostconsult (bureau d'études local) ont été formées par Advitam à l'utilisation du module ScanPrint® Inspection. La formation s'est déroulée sur cinq jours alternant les séances théoriques et pratiques. Les inspecteurs se sont rapidement approprié le logiciel d'inspection.



Formation théorique



Formation terrain

Les inspecteurs ont été munis de l'ensemble du matériel nécessaire au bon déroulement des inspections (PC Tablette ScanPrint® Inspection et ses accessoires, jumelles, appareil photo numérique, mètre, etc...)

## 3. INSPECTIONS DE ROUTINE

### 3.1. Déroulement

De mi-octobre à mi-décembre 2003, les inspecteurs se sont déplacés à travers tout le pays et ont rassemblé des informations et les photographies de 1 312 ponts. La formation des inspecteurs a été consolidée à ce moment par une assistance technique d'Advitam dans les différentes régions de la Bulgarie.



Sofia



Vratza



Gabrovo



Schumen



Blagoevgrad



Pazardjik



Stara Zagora

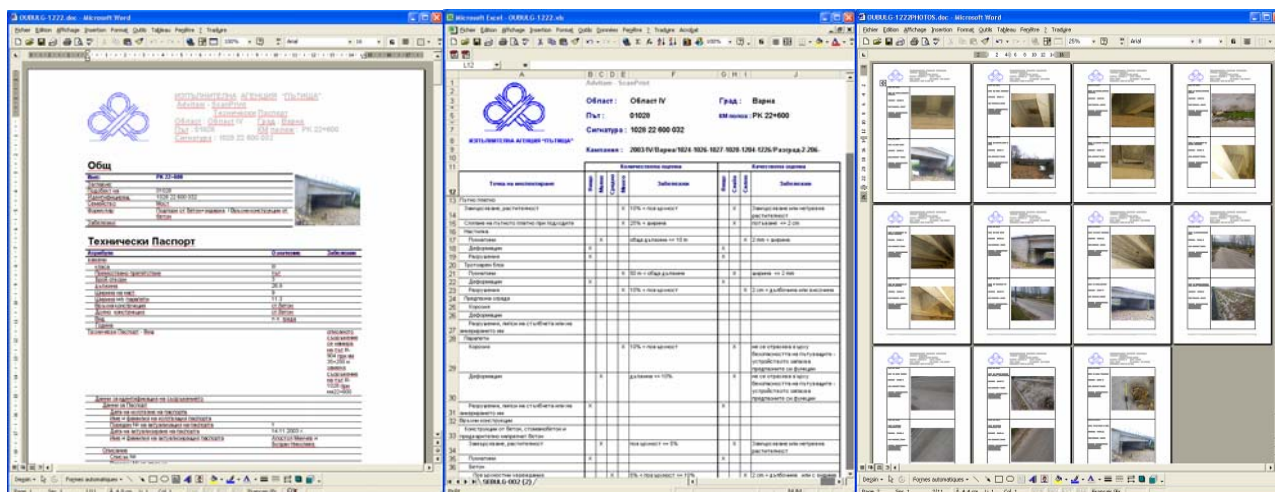


Burgas

### 3.2. Consolidation de la base de données

Du début à la fin des inspections, les données ont été régulièrement transmises par Internet à la Direction des Routes. L'administration était donc capable de visualiser directement l'avancement des inspections, et la mise à jour des données provenant des consolidations successives.

Des tests ont été réalisés pour vérifier la fiabilité des données. Les résultats ont été très satisfaisants puisqu'ils ont permis d'établir une analyse précise du réseau. Sur une interface internet, trois rapports ont été établis pour chaque ouvrage.



Passeport technique

Formulaire d'inspection

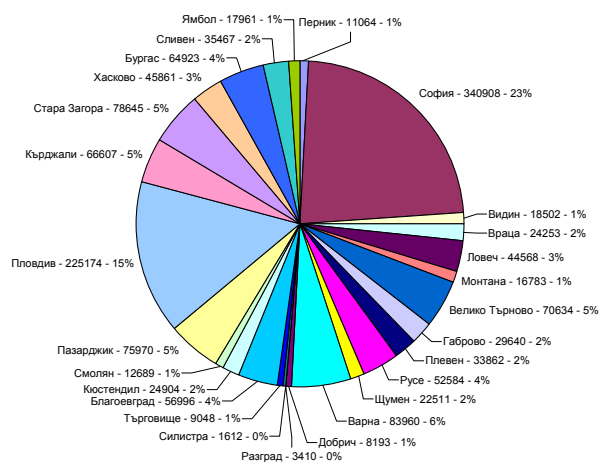
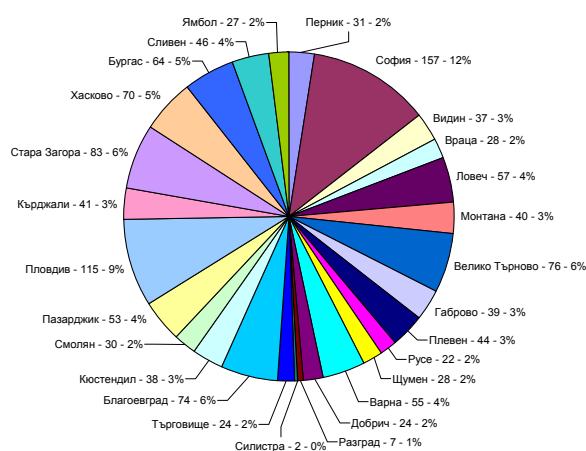
Photographies des défauts

| Résumés des inspections | Structures inspectées | Questions renseignées | Photographies prises |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| Région 1                | 188                   | 37 890                | 4 259                |
| Région 2                | 162                   | 31 572                | 2 517                |
| Région 3                | 181                   | 32 424                | 3 869                |
| Région 4                | 140                   | 30 821                | 2 727                |
| Région 5                | 142                   | 27 007                | 2 702                |
| Région 6                | 168                   | 38 172                | 2 482                |
| Région 7                | 194                   | 40 673                | 4 417                |
| Région 8                | 137                   | 28 242                | 2 870                |
| Total                   | 1 312                 | 266 801               | 25 843               |

Résumé des inspections : l'objectif de 200 questions et de 20 photographies par pont a été atteint en deux mois

## 4. VUE D'ENSEMBLE DU RESEAU

Un certain nombre d'analyses ont été menées par la Direction de Routes Bulgare et par le Laboratoire National. Ci-après sont présentés quelques graphiques représentatifs du réseau routier bulgare :

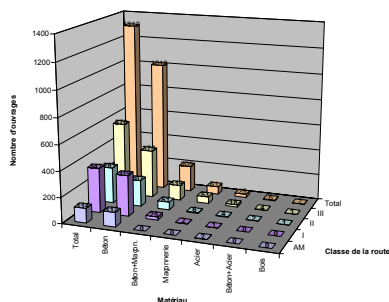


Nombre de ponts par département

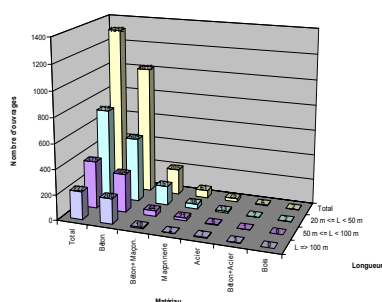
Surface totale de ponts par département

| Classe de route / Type | Béton                | Béton et maçonnerie | Maçonnerie        | Acier             | Béton et acier   | Bois             | Total                 |
|------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|-----------------------|
| <b>AM</b>              | 112<br>8.5%          | 0<br>0.0%           | 0<br>0.0%         | 2<br>0.2%         | 0<br>0.0%        | 0<br>0.0%        | <b>114</b><br>8.7%    |
| <b>I</b>               | 319<br>24.3%         | 25<br>1.9%          | 2<br>0.2%         | 1<br>0.1%         | 0<br>0.0%        | 0<br>0.0%        | <b>347</b><br>26.4%   |
| <b>II</b>              | 207<br>15.8%         | 61<br>4.6%          | 6<br>0.5%         | 4<br>0.3%         | 2<br>0.2%        | 1<br>0.1%        | <b>281</b><br>21.4%   |
| <b>III</b>             | 200<br>15.2%         | 375<br>28.6%        | 119<br>9.1%       | 53<br>4.0%        | 18<br>1.4%       | 4<br>0.3%        | <b>570</b><br>43.4%   |
| <b>Total</b>           | <b>1013</b><br>77.2% | <b>205</b><br>15.6% | <b>61</b><br>4.6% | <b>25</b><br>1.9% | <b>6</b><br>0.5% | <b>2</b><br>0.2% | <b>1312</b><br>100.0% |

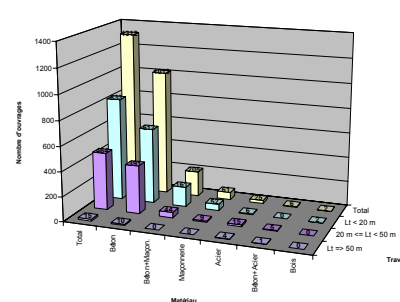
Nombre de structure par type et classe de route



# par type et matériau



# par longueur et matériau



# par longueur de travée et matériau

## 5. ANALYSE DE L'ETAT GENERAL DU RESEAU

### 5.1. Système de notation des ouvrages

Un système de notation des ouvrages a été mis en place afin d'analyser l'état du réseau et donner des indicateurs à la Direction des Routes. Le système de notation a été mis en place à partir du système de quantification des défauts, qui a été institué lors de la refonte des formulaires d'inspection.

La mise en place d'un système de notation est une phase très importante puisqu'elle est en grande partie à la base du schéma directeur de maintenance.



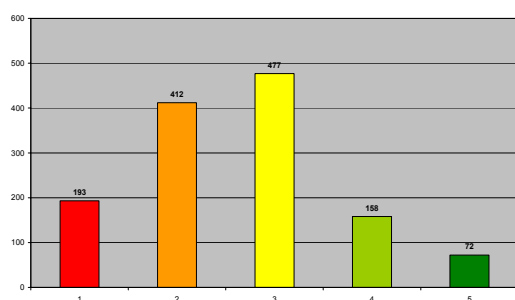
**Système de notation:** Chaque défaut est évalué sur une échelle à deux axes définissant l'importance du défaut et l'urgence de la réparation. L'évaluation de l'importance est basée sur la gravité et l'étendue du défaut, tandis que l'urgence est caractérisée par l'évolutivité du défaut. Les échelles de gravité et d'étendue ont été évaluées défaut par défaut, sur une même matrice à deux axes afin de mettre en place une échelle unique de notation.

**Notation technique d'un ouvrage:** Chaque élément est noté selon la note la plus basse de chacun de ses défauts, et est pondérée par un coefficient dépendant directement de son importance sur la structure. La classification technique d'un ouvrage est alors la combinaison pondérée des notes des éléments qui le constituent.

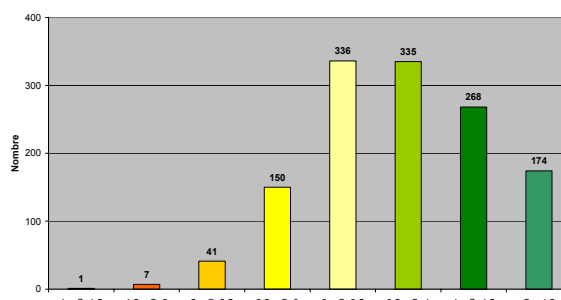
**Notation finale d'un ouvrage:** Afin de prendre en compte l'importance d'un ouvrage dans le réseau, un coefficient additionnel est ajouté selon la classe de la route portée / traversée, et la localisation dudit ouvrage.

## 5.2. Evaluation de l'état global du réseau

Une fois encore, plusieurs études ont été conduites par la Direction des Routes et le Laboratoire National. Certains graphiques représentatifs sont présentés ci-dessous. Il faut savoir que le système de notation adopté donne une note d'autant plus basse que l'ouvrage est en mauvais état.



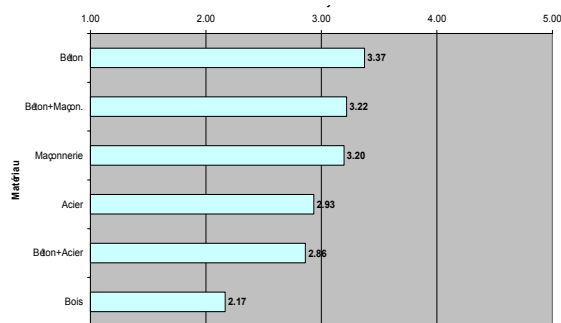
Classification des ponts selon leur défaut le plus grave



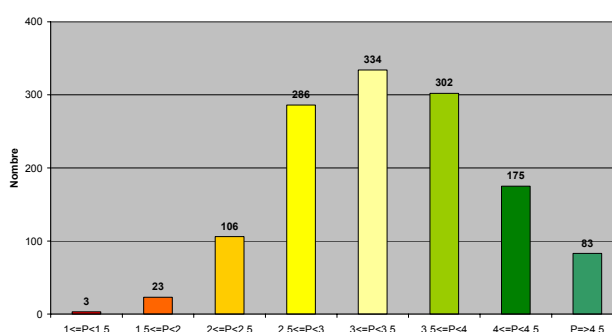
Notation technique des ouvrages

La plupart des structures (53%) ne nécessitent pas de réparation à court ou moyen termes. 36% des structures nécessiteraient une intervention à court terme afin d'éviter toute détérioration future, et 15% nécessitent une réhabilitation.

## 5.3. Analyses comparatives du réseau



Classement moyen par type de structure



Notation finale des ouvrages

Les structures en maçonnerie présentent, probablement à cause de leur âge, l'état de conservation le plus bas (3.20 en moyenne), tandis que les structures béton sont en meilleure condition (3.37 en moyenne). Dans tous les cas, 15% des ponts nécessitent une réparation à court terme (classement <3). En prenant en compte la notation finale (intégrant l'importance de l'ouvrage sur le réseau), 28 ponts devront être détruits ou remplacés.

## 6. CHOIX DES OUVRAGES CRITIQUES ET INSPECTIONS DÉTAILLÉES

### 6.1. Critères sélectionnés

15 ouvrages ont été choisis pour les inspections détaillées, selon les critères suivants :

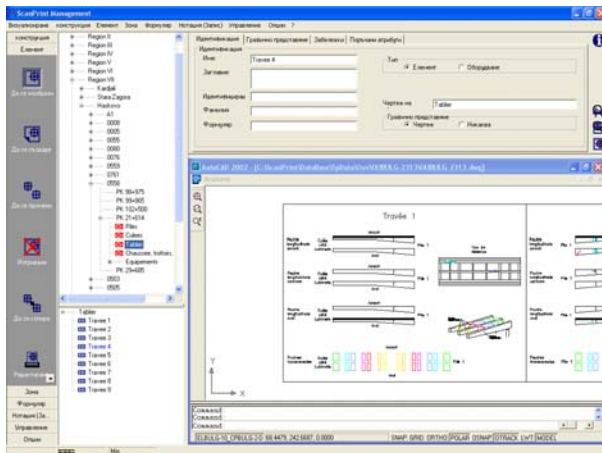
- La notation technique de l'ouvrage,
- Sa localisation sur un corridor européen,

- Ses dimensions,
- Son apparence générale, grâce aux photographies prises pendant les inspections de routine.

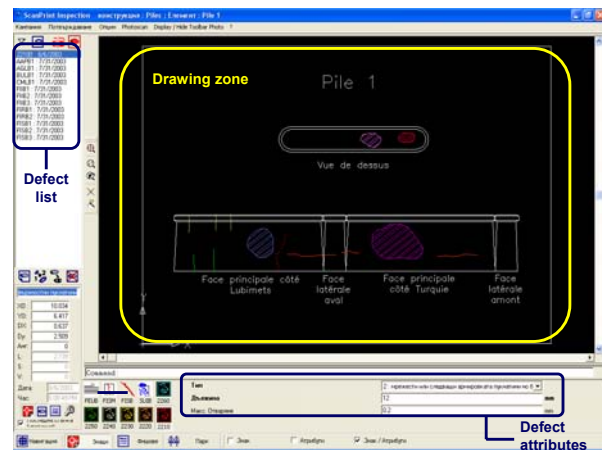
## 6.2. Préparation des inspections détaillées

A partir de la documentation disponible et de l'information qui a été rassemblée pendant les inspections de routine, les plans d'inspections détaillées des 15 ponts ont été réalisés et intégrés dans ScanPrint®.

ScanPrint® inclut par ailleurs et dans sa version standard, une liste de plus de 200 pathologies structurelles assorties à leurs caractéristiques principales (longueur, profondeur, etc...), ainsi que les images et fiches de description visant à venir en aide aux inspecteurs.



Plans des inspections de pont détaillées



Intégration des pathologies dans ScanPrint®

## 6.3. Formation

Une formation théorique et pratique de cinq jours sur les inspections détaillées informatiques est donnée aux inspecteurs de la REA et de Mostconsult.

## 6.4. Réalisation des inspections détaillées



Pendant cette phase, les défauts sont reportés sur les plans avec leurs caractéristiques et photographies.

## 7. SCHÉMA DIRECTEUR DE MAINTENANCE

### 1312 ponts de plus de 20m

En conclusion du projet, il a été fourni à la REA un système d'information global qui comprend:

- Des procédures standards pour l'inventaire et l'inspection des ouvrages,
- Une base de données contenant les informations sur l'ensemble des ouvrages du réseau. Ces informations peuvent être accessibles par différents moyens et peuvent facilement être transmises aux administrations locales:
  - Par l'interface générale de ScanPrint
  - Par des tableaux de synthèses extraits de la base de données (Microsoft Excel par exemple)
  - Par l'interface Internet et les rapports automatisés



- Un logiciel d'inspection et des équipes formées à l'inspection périodique des ouvrages. Un suivi correct du planning des inspections est désormais facilité vis-à-vis des normes bulgares.
- Un logiciel support d'aide à la décision pour les actions de maintenance. Un lien systématique et automatique est créé entre les pathologies et les actions à mener.
- Les avant-projets de réparation de 15 ouvrages. Ces projets serviront de base à la réalisation des travaux de réparation, et pourront être utilisés comme référence en termes d'actions à mener et de prix pour d'éventuels projets futurs. Les avant-projets incluent :
  - Les quantités totales de défauts recueillis lors des inspections détaillées, qui permettront à la REA d'établir directement un budget pour la maintenance légère à effectuer sur les 15 ponts.
  - Les recommandations de réhabilitation des 15 ouvrages (remplacement d'équipements, renforcement des éléments structurels...)
  - Des recommandations d'investigations complémentaires (test de durabilité, instrumentation...).
- Un schéma directeur de maintenance pour les 1312 ponts, précisant les dates et critères de réinspection en fonction de leur notation technique, de leur notation finale, et des critères sélectionnés. Ce schéma directeur a été travaillé avec la REA pour atteindre en 10 ans l'objectif de gestion préventive de tous les ponts de plus de 20 m.

### Et les 4000 ponts ?

Le projet initial a porté sur les 1312 ponts de plus de 20 m du réseau bulgare. En 2004, la REA a reconduit le projet pour les ponts de moins de 20m. Un total de 4000 ponts ont donc été inspectés et intégrés dans le système

Le système étant déjà en place et par ailleurs facile d'utilisation, Advitam n'a fourni qu'une assistance technique lors des phases de rapports et d'analyses de la seconde phase.

## 8. CONCLUSION

En utilisant des outils et des méthodes informatisées, la REA gère son réseau de manière globale, et a augmenté de façon significative les niveaux techniques et de service moyens des 4000 ponts du pays. Maintenant que les moyens financiers sont injectés de façon contrôlée, la gestion préventive de l'ensemble du réseau n'est plus qu'à un pas.

En 2007, lors de la revue de projet conduite par la REA, il a été attribué à Advitam une note globale de 5/5 pour son travail. Advitam a donc gardé une relation professionnelle privilégiée avec les autorités bulgares, afin qu'ils complètent leur objectif d'excellence dans le domaine de la gestion d'infrastructure.