

RÉSUMÉ

Dans l'optique d'une bonne gestion, le SPW réalise des inspections et nivellements périodiques de l'ensemble des 3 500 ouvrages d'art de son patrimoine.

Les nivellements de ponts sont, à l'heure actuelle, malheureusement trop peu examinés en détail à cause du manque d'outil d'analyse conviviale et simple d'utilisation. Le risque est par conséquent de passer à côté de mesures pouvant donner l'alerte sur des désordres potentiels.

Le but du travail présenté est de développer un programme graphique d'analyse des données sur Excel. Il permet de percevoir rapidement les singularités survenues entre deux nivellements. Accompagné d'une inspection spécifique et de calculs de stabilité appropriés, le nivellement analysé permettra de comprendre aisément certains mouvements survenus. Pour illustrer la démarche, les données relatives au pont n°1 à Seneffe et au Pont Père Pire ont été analysées.

En parallèle à ce programme, la méthodologie de nivellements de ponts au SPW est révisée et améliorée dans le but d'avoir une gestion unique dans la Base de Données des Ouvrages d'Art. Cette procédure détermine les rôles de chaque acteur et leurs interventions respectives dans l'analyse des données.

Des pistes d'évolution seront proposées à titre d'exploitation future. Ces pistes porteront autant sur le programme que sur la méthodologie présentée.

L'attention du lecteur est portée sur le fait que ce mémoire ne porte pas sur les techniques de nivellements et ne remet pas en cause les données mesurées sur terrain mais il développe des outils et procédures d'aide à leur interprétation et à leur gestion d'ensemble.

REMERCIEMENTS

Je tiens d'abord à remercier mon maître de stage et promoteur au sein du Service Public de Wallonie, Mr Toussaint Patrice, ingénieur à la Direction de l'Expertise des ouvrages. Je lui exprime ma gratitude pour la confiance qu'il m'a accordée, ainsi que pour l'opportunité qu'il m'a offerte en me donnant l'occasion de réaliser mon stage au sein de sa Direction. Je tiens encore à le remercier pour tous les conseils judicieux qu'il m'a fournis et l'encadrement qu'il m'a apporté.

Des remerciements particuliers sont adressés à ma promotrice HEPL, M^{me} Motte Marie-Andrée professeur à la Haute École de la Province de Liège, pour son soutien et son aide dans la rédaction de ce travail. De plus, M^{me} Motte m'a donné le goût de la recherche et du dépassement de soi grâce à divers concours proposés. Ces concours ont éveillé mon intérêt face à la complexité et la diversité des ouvrages d'art.

Je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail sur le nivellement des Ouvrages d'art, en espérant ne pas en oublier ; du Département des Expertises techniques : M^{me} Franquet Isabelle, Mr Gilles Pierre, Mr Zecchin Dino, Mr Grisard Luc, Mr Dondonne Eric, Mr Chegraoui Mohammed, Mr Coune Michel, Mr Stelz Vincent ; de la Direction de la Géométrie : M^{me} Carlier Anne, Mr Latour Marc, Mr Dejardin Jean-Pierre ainsi que Mr Berger Olivier de la société ADEHIS. Par leurs conseils précieux, leurs explications claires, leur dévouement et leur disponibilité, ils ont su me guider dans les procédures de réalisation de ce programme et de cette méthodologie.

Finalement, je voudrais particulièrement remercier mes parents, José et Krista, pour leur soutien moral tout au long de ma vie entière passée aux études. Un grand merci est aussi accordé à Rudy, Danielle et José pour leur temps consacré.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	1
1.1 ORGANISATION DU SPW	1
1.2 PROBLÉMATIQUE	2
1.3 OBJECTIFS	4
2 GESTION DES OUVRAGES D'ART	5
2.1 CONTRÔLE AVANT MISE EN SERVICE DE L'OUVRAGE	5
2.1.1 ÉPREUVE DE MISE EN CHARGE DE L'OUVRAGE	5
2.1.2 PREMIER NIVELLEMENT	9
2.2 VÉRIFICATION DES OUVRAGES D'ART DANS LE TEMPS	15
2.2.1 INSPECTION A	15
2.2.2 INSPECTION B	17
2.2.3 NIVELLEMENT PÉRIODIQUE	19
2.2.4 NIVELLEMENT SPÉCIAL	22
3 PROGRAMME DE NIVELLEMENT	23
3.1 ÉTUDE DES BESOINS	23
3.1.1 À L'HEURE ACTUELLE	23
3.1.2 BESOINS DE LA DIRECTION DE LA GÉOMÉTROLOGIE	24
3.1.3 BESOINS DES DIRECTIONS TERRITORIALES	24
3.1.4 BESOINS DE LA DIRECTION DES CONCEPTIONS ET DES CALCULS	25
3.1.5 BESOINS DE LA DIRECTION DE L'EXPERTISE DES OUVRAGES	25
3.1.6 CONCLUSION	26
3.2 RÉALISATION D'UN PROGRAMME D'ANALYSE	27
3.2.1 MODE D'EMPLOI	28
3.2.2 DONNÉES OUVRAGE	29
3.2.3 DONNÉES NIVELLEMENT	32
3.2.4 ÉVOLUTION DU POINT EN FONCTION DU TEMPS AVEC PROFIL DES TEMPÉRATURES	38
3.2.5 ÉVOLUTION DES DÉFORMATIONS SUR LE TABLIER	40
3.2.6 PRÉSENTATION DU PROFIL LONGITUDINAL	41
3.2.7 PRÉSENTATION DU PROFIL TRANSVERSAL	43
3.2.8 ÉVOLUTION DU POINT FONCTION DE SES APPUIS	44
3.3 APPLICATION POUR LA VÉRIFICATION D'UN PONT CANTILEVER	47
3.3.1 PROBLÉMATIQUE	47
3.3.2 UTILISATION DU PROGRAMME	51
3.3.3 CONCLUSION	59

3.4	APPLICATION POUR LA VÉRIFICATION D'UN PONT HAUBANÉ	60
3.4.1	PROBLÉMATIQUE	60
3.4.2	UTILISATION DU PROGRAMME	61
3.4.3	CONCLUSION	63
4	LE NIVELLEMENT DANS LA BDOA	64
<hr/>		
4.1	QU'EST-CE QUE LA BDOA ?	64
4.2	LE NIVELLEMENT DANS LA BDOA	65
4.2.1	FICHE D'AVANT-PROJET	65
4.2.2	FAP « NIVELLEMENT DANS LA BDOA »	65
4.3	AMÉLIORATIONS FUTURES	102
5	LA GESTION DES DOCUMENTS DANS LE FUTUR	103
<hr/>		
5.1	LES DOCUMENTS À L'HEURE ACTUELLE	104
5.1.1	FENÊTRE DU CONCEPT « DOCUMENTS »	104
5.1.2	AJOUTER UN DOCUMENT	105
5.1.3	RECHERCHE D'UN DOCUMENT	108
5.2	PROPOSITION D'AMÉLIORATION	109
5.2.1	NOUVEAUTÉS	109
5.2.2	VISUALISATION DE L'ENSEMBLE DES DOCUMENTS	110
5.2.3	CRÉATION D'UN DOCUMENT	111
5.2.4	GESTION DES DOCUMENTS	112
6	CONCLUSIONS	116
<hr/>		

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Organigramme de la DGO1.....	2
Figure 2 : Missions de la DGO1-65	3
Figure 3 : RGOA.....	3
Figure 4 : Mise en charge d'une travée du viaduc de Boirs.....	5
Figure 5 : Déformations possibles du tablier	6
Figure 6 : Fleximètre - Tassomètre - Clinomètre.....	7
Figure 7 : Présentation du programme d'analyse des essais de pont	7
Figure 8 : Détail des flèches	8
Figure 9 : Position des repères sur un profil transversal	9
Figure 10 : Placement des repères sur un tablier à traversées indépendantes	10
Figure 11 : Placement des repères sur un tablier cantilever	10
Figure 12 : Placement des repères sur un tablier continu	10
Figure 13 : Représentation des types de repère sur l'ouvrage	11
Figure 14 : Repère de référence modèle I	12
Figure 15 : Plan de nivellement accompagné des résultats du premier nivellement.....	14
Figure 16 : Description faite à l'aide d'un Bridge-Boy.....	16
Figure 17 : Instrumentation d'un chevêtre à l'aide de fibres optiques	17
Figure 18 : Contrôle par thermographie infrarouge d'une chape d'étanchéité	18
Figure 19 : Carbonatation du béton.....	18
Figure 20 : Nivellement d'un pont ayant une portée comprise entre 0 et 12 m.....	21
Figure 21 : Nivellement d'un pont ayant une portée comprise entre 12 et 60 m.....	21
Figure 22 : Programme d'analyse Excel	27
Figure 23 : Présentation de la page mode d'emploi du programme.....	28
Figure 24 : Visualisation de la feuille "Données ouvrage"	29
Figure 25 : Description du numéro d'identification	29
Figure 26 : Logigramme de la macro « Ajout des remarques »	31
Figure 27 : Présentation de la feuille "Données nivellement".....	32
Figure 28 : Logigramme de la macro "Nouveau repère" & "Nouveau nivellement"	32
Figure 29 : Fenêtre pour le choix des feuilles à imprimer.....	35
Figure 30 : Macro de la fonction "Imprimer"	36
Figure 31 : Fenêtre permettant de sélectionner les lignes à déplacer et leur nouvel emplacement pour le déplacement de repère(s) dans le tableau.....	36
Figure 32 : Message d'erreur s'affichant s'il manque une ou plusieurs sélections	37
Figure 33 : Logigramme de la macro "Déplacer repère".....	37
Figure 34 : Graphe de l'évolution d'un point en fonction du temps	38
Figure 35 : Logigramme pour l'ensemble des boutons "EFFACER".....	39
Figure 36 : Graphique de l'évolution des déformations sur le tablier	40
Figure 37 : Graphique du profil longitudinal	41
Figure 38 : Profil longitudinal du pont 102 Canal Nimy-Blaton	42
Figure 39 : Présentation d'un profil transversal.....	43
Figure 40 : Schéma de la cinématique d'un pont cantilever	44
Figure 41 : Évolution du point n°5 en fonction du temps.....	44
Figure 42 : Évolution du point n°5 en fonction du temps et de ses appuis	45

Figure 43 : Déformation du bec	45
Figure 44 : Illustration de la formule	46
Figure 45 : Plan du pont n°1 à Seneffe	47
Figure 46 : Détail des appareils d'appuis	47
Figure 47 : Pas de mouvement observé en aval au niveau du joint.....	48
Figure 48 : Mouvement vertical au niveau du joint de 3,5 cm en amont	48
Figure 49 : Mouvement vertical entre le sommier et le tablier	48
Figure 50 : Barre sectionnée.....	48
Figure 51 : Schéma et photo des nouveaux ancrages	49
Figure 52 : Visualisation des points relevés.....	49
Figure 53 : Plan du pont 569	51
Figure 54 : Feuille "Données ouvrage" du pont n°1 à Seneffe.....	51
Figure 55 : "Données ouvrage" pour le pont n°1 à Seneffe	52
Figure 56 : "Données nivellement" comparaison entre 1980 et 1997	53
Figure 57 : "Évolution point" des piles	54
Figure 58 : "Évolution point" n°1, c1 & 2, c2	55
Figure 59 : "Delta Z" entre les années 1980 et 1997.....	56
Figure 60 : "Delta Z" entre les années 1980 et 2010.....	56
Figure 61 : "Profil longitudinal" n°1	57
Figure 62 : "Profil longitudinal" n°2	57
Figure 63 : "Point en fonction des appuis" évolution du repère n°7	58
Figure 64 : Plan du Pont Père Pire	60
Figure 65 : Visualisation du graphe amélioré "Delta Z" dans le cas du Pont Père Pire.....	61
Figure 66 : Comparaison entre les efforts dans les haubans et les déplacements du tablier	62
Figure 67 : Concept "Documents" à l'heure actuelle.....	104
Figure 68 : Création d'un document	105
Figure 69 : Liste déroulante définissant le type de document ajouté.....	105
Figure 70 : Liste déroulante définissant la nature du document	106
Figure 71 : Calendrier.....	106
Figure 72 : Localisation dans la BDOA	106
Figure 73 : Localisation à l'aide d'un lien URL.....	107
Figure 74 : Localisation physique	107
Figure 75 : Tableau reprenant l'ensemble des documents	108
Figure 76 : Tableau des documents sous format Excel.....	108
Figure 77 : Recherche d'un document.....	108
Figure 78 : Fenêtre du concept « Documents ».....	110
Figure 79 : Fenêtre pour l'ajout d'un document.....	111
Figure 80 : Schématisation de la BDOA.....	114
Figure 81 : Recherche de documents	114
Figure 82 : Visualisation des plans & fiches sur le concept "Nivellements"	115

CHAPITRE I

1. INTRODUCTION

1.1 ORGANISATION DU SPW

Le Service Public de Wallonie représente l'administration de la Région Wallonne.

Il est composé de :

- Un Secrétariat Général, il est défini par « *l'entité transversale par excellence du Service Public de Wallonie* ».
- Deux Directions Générales Transversales qui offrent à toutes les autres Directions un encadrement et une aide dans les matières dites transversales telles que : le personnel, le budget, l'informatique,...

On y retrouve :

- DGT 1 Personnel et affaires générales ;
 - DGT 2 Budget, logistique et TIC¹.
- Sept Directions Générales Opérationnelles, elles gèrent toutes des matières et des compétences spécifiques afin de répondre au mieux aux attentes du citoyen, des entreprises, des associations et des pouvoirs locaux.

Elles sont reprises ci-dessous ;

- DGO 1 Routes et Bâtiments,
- DGO 2 Mobilité et Voies hydrauliques,
- DGO 3 Agriculture, Ressources naturelles et Environnement,
- DGO 4 Aménagement du territoire, Logement, Patrimoine et Énergie,
- DGO 5 Pouvoirs locaux, Action sociale et Santé,
- DGO 6 Économie, Emploi et Recherche,
- DGO 7 Fiscalité.

¹ **TIC** : Technologies de l'Informatique et de la Communication.

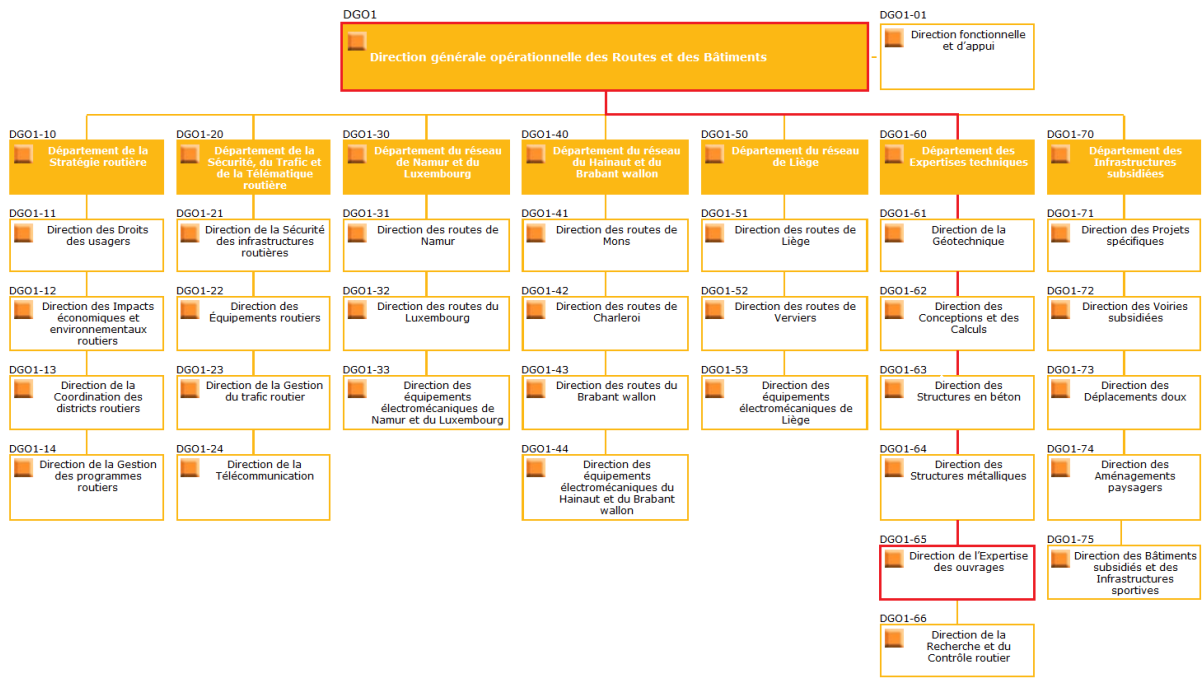


FIGURE 1 : ORGANIGRAMME DE LA DGO1

La Direction Générale Opérationnelle des Routes et des Bâtiments (DGO1), en collaboration avec la Direction Générale Opérationnelle de la Mobilité et des Voies hydrauliques (DGO2), a pour mission de gérer correctement le réseau routier et autoroutier régional. Ces deux directions coopèrent également pour gérer l'ensemble des ouvrages d'art présent en Wallonie. La DGO1 est divisée en sept Départements et 30 Directions (Figure 1).

Mon stage et mon mémoire ont été réalisés au sein de la Direction de l'Expertise des ouvrages (DGO1-65) qui est l'une des 6 Directions du Département des Expertises techniques. En concertation avec les autres Directions du Département des Expertises techniques, la DGO1-65 réalise des Inspections B, des essais de mise en charge et veille à la conservation et à la gestion des ouvrages.

1.2 PROBLÉMATIQUE

En Wallonie, environ 3 500 ponts sont gérés par le SPW. La majorité de ceux-ci ont été conçus durant les années 60-70. En effet, lors de la journée de Gestion des Ouvrages d'art, Monsieur Dubois, administrateur – gérant de P.M.D. S.P.R.L., a déclaré : « *Fin des années soixante, on inaugurerait dans le pays en moyenne un pont par jour* ». Ce qui nous amène aujourd'hui à la gestion d'une majorité de ponts ayant approximativement 50 ans. Au fil des années, de nombreuses dégradations ont été constatées sur ces ponts, notamment des détériorations dues à l'eau et à une mauvaise conception des ouvrages par rapport à cet élément. Ces ponts ont été réparés, mis sous surveillance (monitoring) ou démolis.

Ce n'est qu'en 1978, suite notamment à l'effondrement du pont de Pulle, qu'une politique de gestion du parc d'ouvrages d'art a été mise en place. Chaque gestionnaire d'ouvrages, c'est-à-dire les Directions Territoriales des routes et des voies navigables, est chargé de la conception et de la gestion de leurs ouvrages. Celui-ci peut s'appuyer sur plusieurs services spécialisés du SPW regroupés notamment au sein du Département des Expertises techniques.

La Direction de l'Expertise des ouvrages fait partie de ces services spécialisés. Elle a pour mission d'analyser tout type de structure de génie civil et de bâtiment dont les ponts, lorsqu'une demande lui est faite.

Voici une synthèse de ses missions :

- Des expertises : voir point 2.2.2.
- Des essais de mise en charge, voir point 2.1.1.
- Des Contrôles sur chantier de techniques spéciales.
- Des campagnes de mesure et instrumentation des ouvrages d'art.
- Des recherches et développements.

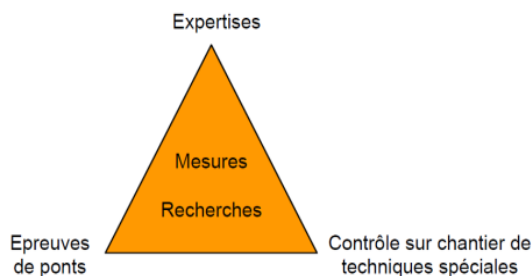


FIGURE 2 : MISSIONS DE LA DGO1-65

Grâce à toutes ces missions, la Direction de l'Expertise des ouvrages, épaulées par d'autres Directions du DGO1, préserve au mieux son parc d'ouvrages d'art. De plus, ces interventions l'amènent à mieux comprendre les dégradations subies par les ouvrages au fil du temps.



FIGURE 3 : RGOA

En amont de ces analyses ponctuelles réalisées par la DGO1-65, une réglementation impose un contrôle régulier de chaque ouvrage pour qu'il soit en bonne santé. Ce règlement, appelé « *Règlement concernant la Gestion des Ouvrages d'Art* » (Figure 3) définit une méthodologie de gestion qui se veut préventive, rationnelle et efficace. De plus, il précise les directives à observer par les différents intervenants. Ce règlement a une valeur juridique et est signé par le Ministre de l'Équipement et du Patrimoine. C'est cette circulaire qui formalise les inspections et nivellements à réaliser sur chaque ouvrage. À cette fin, des inspections A (voir point 2.2.1 p. 15) et des nivellements sont planifiés selon le type de structure et l'état de santé de l'ouvrage.

La Banque de Données des Ouvrages d'Art (BDOA²), qui est un outil informatique géré par la Direction des Conceptions et des Calculs, se base sur ce règlement pour planifier les échéanciers des inspections A et B.

Dans le cas des nivellements, malheureusement à l'heure actuelle peu de ponts sont nivelés périodiquement et, dans le pire des cas, certains ne l'ont jamais été. Les nivellements réalisés ne sont pas étudiés en profondeur. Pour vérifier si aucun repère n'a bougé anormalement, une simple comparaison est faite entre les données du dernier nivellement et celles du premier nivellement, mais cela ne suffit pas. Dans certains cas, comme celui du pont n°1 à Seneffe (voir point 3.3 p. 47), une analyse plus approfondie aurait pu alerter le gestionnaire d'un début de mouvement inhabituel.

² BDOA : point 4.1 p. 63 : Qu'est-ce que la BDOA ?

Ce manque d'intérêt pour le nivellement est certainement dû au manque d'outils nécessaires à l'analyse des données. Il en découle un manque d'organisation dans le concept « Nivellements » de la BDOA. Les nivellements sont peu suivis et les données récupérées ne sont pas indiquées dans la base de données prévue à cet effet.

Finalement, pour gérer au mieux les nivellements dans la BDOA, une réflexion sur la gestion future des documents en général est nécessaire.

1.3 OBJECTIFS

Ce mémoire a pour objectif de présenter la création d'un outil convivial pour l'encodage et l'analyse des nivellements. Cet outil est un programme créé à l'aide d'Excel. Pour mener à bien ce travail, plusieurs macros, formules, graphes et mises en forme conditionnelles y sont inclus.

Après une étude des besoins, réalisée auprès de chaque acteur participant au nivellement, le projet a pu commencer. Pour connaître l'ensemble des besoins propres à chaque individu, des réunions « Groupe de Travail », des entrevues, des visites sur terrain et des exposés ont été organisés. C'est la base de tout projet.

Afin d'intégrer ce programme dans la BDOA, une réorganisation du concept « Nivellements » de la BDOA sera pensée et proposée au chapitre IV. Pour effectuer cela, une étude des besoins a également été réalisée. Une Fiche Avant-Projet a été rédigée par mes soins dans le but d'expliquer toutes les améliorations à apporter.

Pour terminer, ce travail donnera des pistes pour améliorer la gestion de l'ensemble des documents dans la BDOA.

2 GESTION DES OUVRAGES D'ART

2.1 CONTRÔLE AVANT MISE EN SERVICE DE L'OUVRAGE

2.1.1 ÉPREUVE DE MISE EN CHARGE DE L'OUVRAGE



FIGURE 4 : MISE EN CHARGE D'UNE TRAVÉE DU VIADUC DE BOIRS

Une épreuve de mise en charge est appliquée à l'ouvrage avant sa mise en circulation. Elle est réalisée sur un ouvrage neuf comme sur un ouvrage ayant subi des travaux importants touchant sa structure. Elle est nécessaire pour valider la réception provisoire du pont.

La Direction de l'Expertise des ouvrages planifie et effectue l'essai de pont après réception de la demande faite par la Direction Territoriale.

Cette épreuve permet de vérifier le bon fonctionnement sous chargement de l'ouvrage. Elle permet également de détecter des comportements anormaux tels que des flèches trop importantes, en charge ou résiduelles après déchargement, ainsi que des rotations empêchées aux appuis (Figure 5, p. 6).

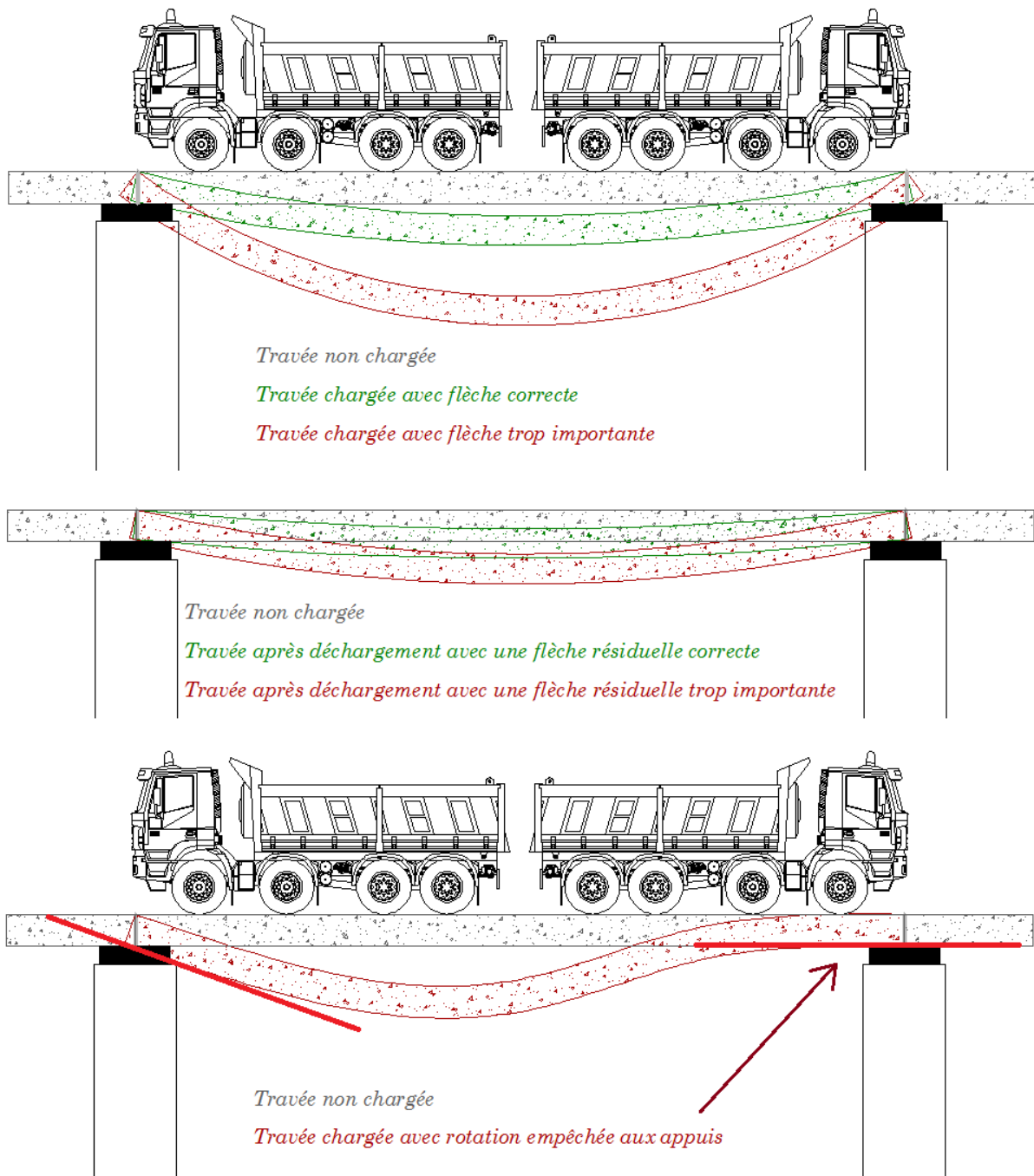


FIGURE 5 : DÉFORMATIONS POSSIBLES DU TABLIER

Pour vérifier l'ensemble de ces comportements, la Direction de l'Expertise des ouvrages dispose de différents outils :

- Les fleximètres, avec ou sans montre, mesurent les différences de hauteur. Dans le cas de l'essai de pont, ils permettent de mesurer les flèches du tablier. La précision du fleximètre est de ± 0.05 mm. Les flèches du tablier peuvent également être mesurées à l'aide d'un nivellement effectué par la Direction de la Géométrie.
- Les clinomètres mesurent les angles au niveau des appuis. Ils indiquent la rotation induite dans les appuis. L'unité du clinomètre est le mgon et sa précision est ± 5 mgon (1 mgon = 0,01 mm/m).
- Les tassomètres donnent le tassement de l'appui sous chargement.



FIGURE 6 : FLEXIMÈTRE - TASSOMÈTRE - CLINOMÈTRE

À partir des données fournies par tous ces instruments, un programme interne à la Direction de l'Expertise des ouvrages permet de visualiser les profils longitudinaux et transversaux du pont. Grâce à ces graphes, on vérifie si les allures des déformées sont normales et réguliers par rapport au type de structure concernée. Ce programme vérifie surtout si le rapport K (voir p. 8) est dans les limites imposées. Cette limite est :

- < 10 % pour le béton précontraint ;
- < 20% pour le béton armé;
- < 10 % pour une structure métallique;

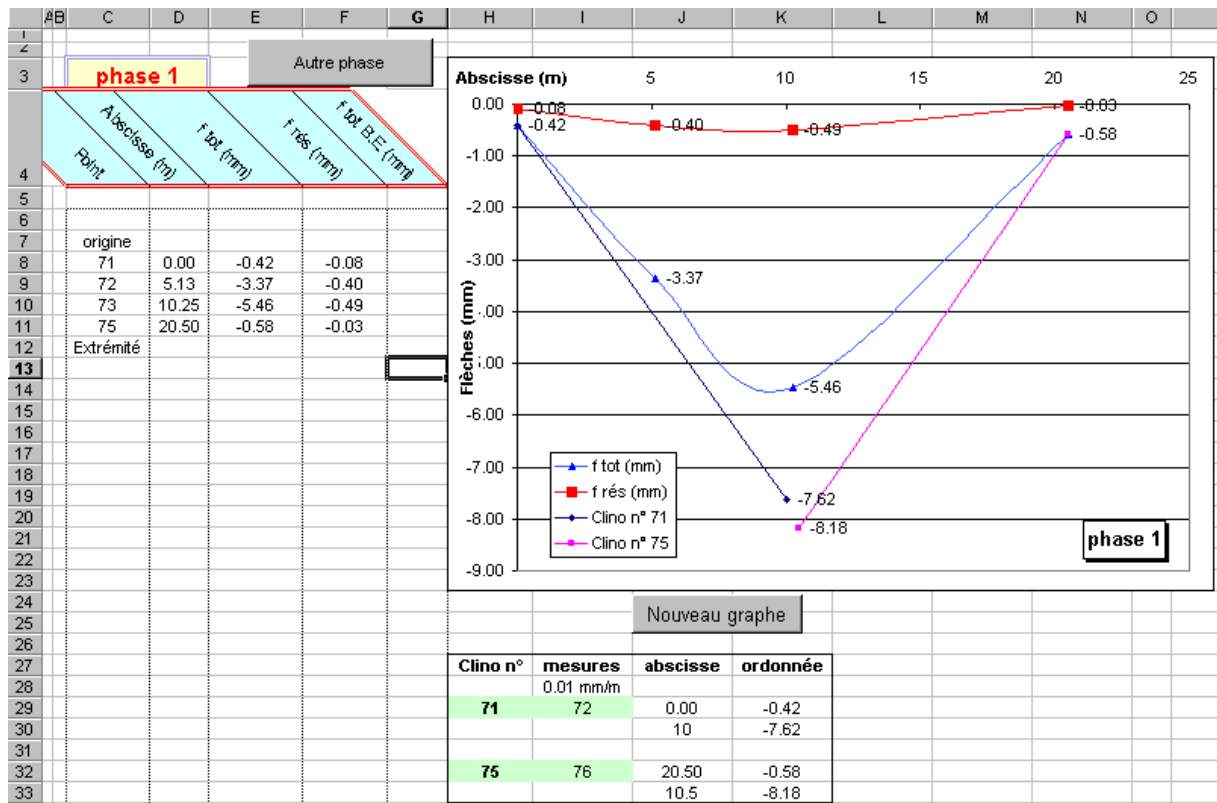


FIGURE 7 : PRÉSENTATION DU PROGRAMME D'ANALYSE DES ESSAIS DE PONT

Pour la vérification de la flèche, le rapport des flèches est calculé comme suit :

$$K = \frac{f_{résult.}}{f_{tot.}} < 10\% \text{ pour poutre en BP}$$

Avec,

K	Rapport des flèches
$f_{résult.}$	Flèche résultante qui est calculée après chargement.
$f_{tot.}$	Flèche totale qui est calculée en charge.
$f_{élast.}$	Flèche élastique qui est obtenue par l'équation suivante :

$$f_{élast.} = f_{tot.} - f_{résult.}$$

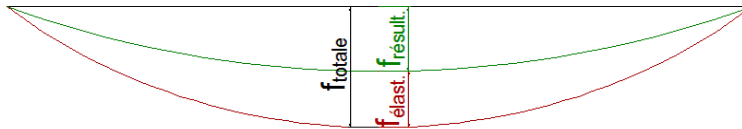


FIGURE 8 : DÉTAIL DES FLÈCHES

Le chargement du tablier est effectué à l'aide de camions lestés (Figure 4, p. 5). La sollicitation statique mise en place est proche de celle prévue par l'étude théorique (entre 80 et 90%). Elle est calculée à l'aide de la norme NBN B03-101.

Pour certains types de ponts (ponts cadres, ponts de faible portée,...), les résultats peuvent ne pas être significatifs en raisons des faibles flèches et de la précision des mesures.

2.1.2 PREMIER NIVELLEMENT

Le premier nivellement est réalisé après les épreuves de réception et avant l'ouverture de la route à la circulation, c'est-à-dire après :

- un examen visuel détaillé effectué par la Direction Territoriale,
- l'épreuve de mise en charge statique réalisée par la Direction de l'Expertise des ouvrages.

Le nivellement initial est demandé par la Direction Territoriale à la Direction de la Géométrie dès que les repères sont placés sur l'ouvrage. Ces repères sont fournis par la Direction de la Géométrie et sont placés par l'entrepreneur suivant le cahier des charges.

Il existe deux types de repères : ceux situés sur l'ouvrage et ceux de référence. Les repères situés sur l'ouvrage doivent être indestructibles et fixés solidement. Ils seront à chaque fois fixés dans les éléments principaux de l'ouvrage et non dans les éléments détachables tels que pierre de taille, parement, joint de dilatation,... Ils ne doivent en aucun cas perforer la chape d'étanchéité.

Pour les repères situés sur le tablier, on essaie dans la mesure du possible de créer au minimum deux lignes de repères parallèles à l'axe longitudinal de part et d'autre du pont, comme présentées ci-contre.

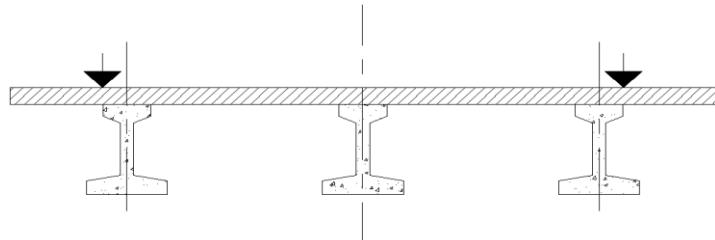


FIGURE 9 : POSITION DES REPÈRES SUR UN PROFIL TRANSVERSAL

Les repères sont placés sur le tablier au droit :

- des piles ;
- des culées ;
- des becs de poutres en porte à faux ;
- de part et d'autre des dispositifs d'articulation ;
- à mi-portée des travées ;
- pour les ponts continus et/ou en arc au quart de portée.

Des emplacements types de repères sont alors prédéfinis sur certains ponts.

Pour les repères situés sur le tablier d'un pont à travées indépendantes, on place longitudinalement trois repères par travée ce qui donne :

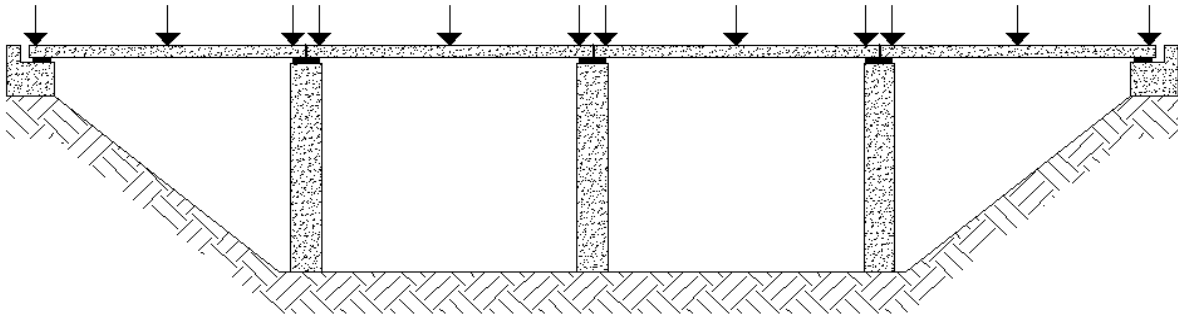


FIGURE 10 : PLACEMENT DES REPÈRES SUR UN TABLIER À TRAVERSÉES INDÉPENDANTES

En présence d'un pont cantilever, on a onze repères par profils longitudinaux :

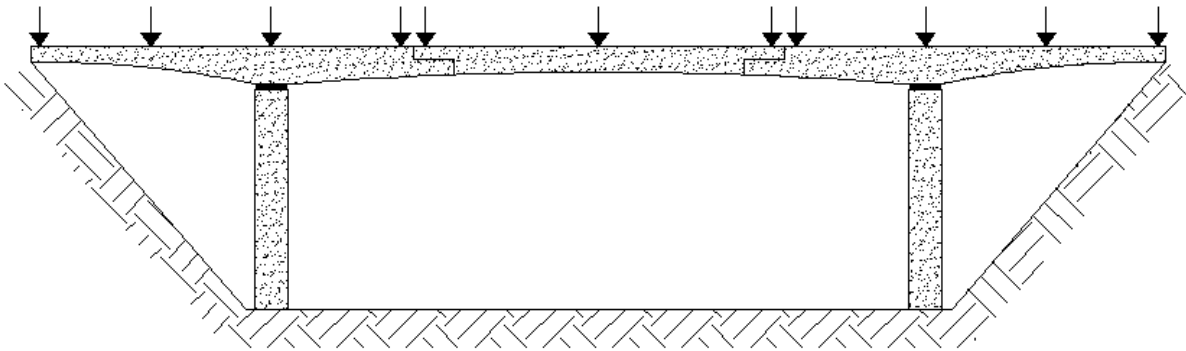


FIGURE 11 : PLACEMENT DES REPÈRES SUR UN TABLIER CANTILEVER

Enfin si le tablier est continu, neuf repères sont placés par ligne longitudinale.

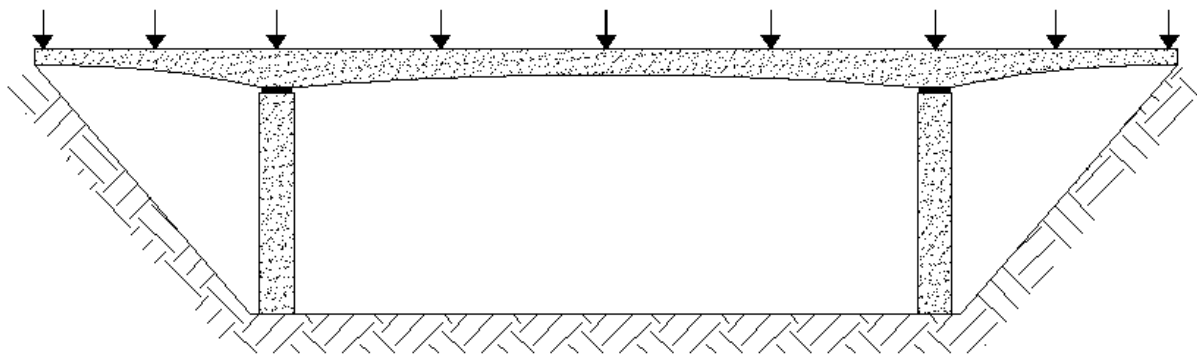


FIGURE 12 : PLACEMENT DES REPÈRES SUR UN TABLIER CONTINU

Pour les repères situés sur l'infrastructure, les piles et les culées, ces repères permettent de vérifier les rotations ou translations de ces éléments.

On comptabilise 3 modèles de repères en acier inoxydable à positionner sur les ouvrages en béton :

- Type I : repère crochu à placer sur les piles et les culées. Il est placé à 50 cm au-dessus du sol avec la tête dirigée vers le haut ou à 2.20/3.20 m du sol avec la tête dirigée vers le bas. Cette seconde position est préconisée car elle présente moins de risques d'endommagement vu sa hauteur.
- Type II : repère droit semblable à un rivet. Il est placé dans le tablier et sur les trottoirs. Il doit permettre le placement vertical d'une mire de 3 mètres.
- Type III : repère qui se positionne sur les parois verticales de l'ouvrage tel le type I. Vu sa grande longueur, il est utilisé lorsque l'accès à la structure de l'ouvrage est obstrué par un parement ou autre.

Ces différents modèles sont repris ci-dessous :

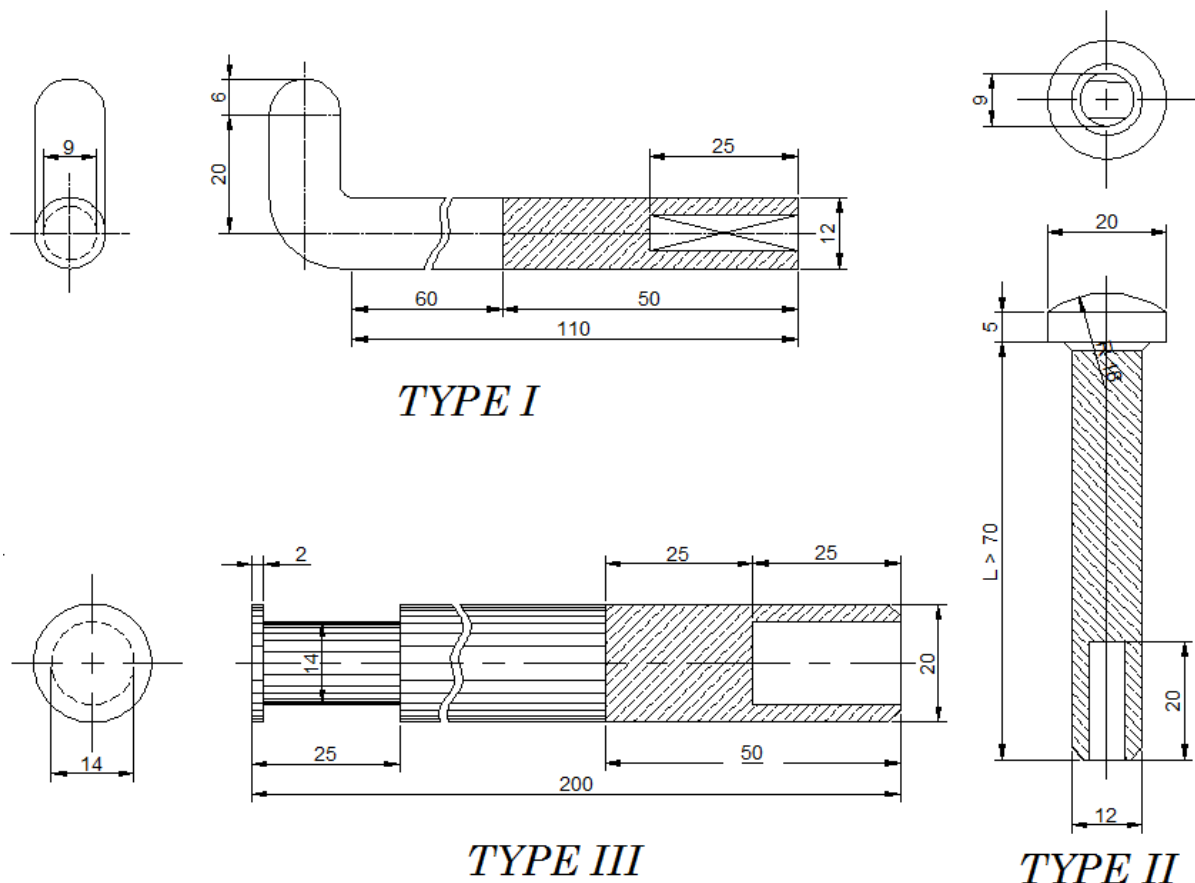


FIGURE 13 : REPRÉSENTATION DES TYPES DE REPÈRE SUR L'OUVRAGE

À côté de ces repères placés sur l'ouvrage, on trouve les repères de référence ou les balises qui sont situés à une distance de l'ouvrage telle que leur position n'est plus influencée par le mouvement du pont. On recommande de les placer à une distance minimale de 3 fois la largeur des semelles de la fondation ou 5 fois la hauteur des remblais.

On retrouve deux modèles distincts :

- Modèle I (Figure 14) qui est placé dans les sols meubles, raison pour laquelle il est constitué d'une longue poutrelle IPE 200 (2 m) enfoncée dans le sol par battage et sur laquelle vient se couler un bloc en béton de 50/40/40 cm qui reçoit un repère de type II.
- Modèle II, conçu pour les roches, il ne doit pas être stabilisé par une poutrelle enfoncée dans le sol et est dès lors constitué d'un bloc en béton de 50/40/40 cm muni d'un repère de type II.

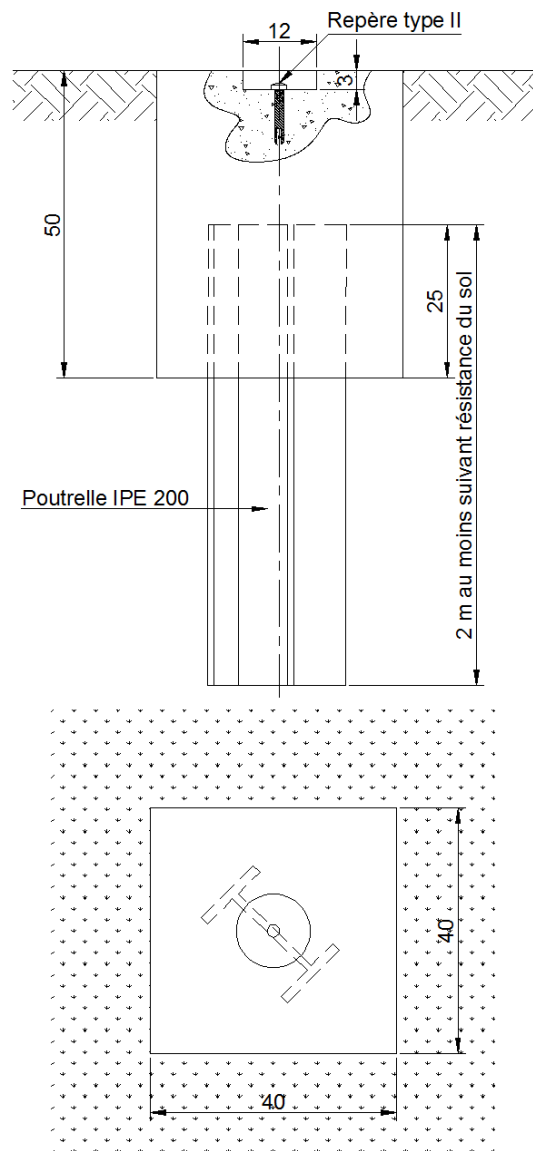


FIGURE 14 : REPÈRE DE RÉFÉRENCE MODÈLE I

Dans la mesure du possible, chaque ouvrage est rattaché à 3 repères de référence qui peuvent être tous propres à l'ouvrage mais un ou plusieurs d'entre eux peuvent être des repères IGN ou des repères propres à d'autres ouvrages.

Par la suite, lorsque les épreuves sont réalisées et que les repères sont placés, une demande écrite est faite à la Direction de la Géométrie. Celle-ci planifie alors le nivellement initial dans les plus brefs délais.

Le nivellement initial est un nivellement complet et de précision. Il reprend l'ensemble des points de l'ouvrage situés sur les piles, les culées et le tablier. Il est réalisé à l'aide d'un matériel de précision, par exemples : niveau numérique LEICA DNA 03 (voir Annexe A) ou NA 3003 et mire à code-barres en invar.

L'équipe de nivellement utilise le plan fourni par la Direction des Conceptions et des Calculs. Ce plan du pont mentionne les repères de nivellement. Le nivellement terminé, les mesures prises sont reportées dans le tableau type de nivellement (Figure 15, p. 14). La Direction de la Géométrie remet alors un plan muni des repères et des résultats du nivellement initial à la Direction Territoriale concernée et à la Direction des Conceptions et des Calculs. Ce plan et ce tableau seront utilisés ultérieurement par la Direction Territoriale pour réaliser ses nivellements périodiques.

2.2 VÉRIFICATION DES OUVRAGES D'ART DANS LE TEMPS

2.2.1 INSPECTION A

Les inspections A sont périodiques et réalisées par une équipe spécialisée de la Direction Territoriale. Cette équipe est en mesure de connaître tous les éléments du pont et les différentes maladies s'y attachant.

Un dossier d'inspection est créé pour chaque pont lors de sa première inspection A. Il contient l'ensemble des croquis de l'ouvrage, le plan de situation et le ou les dossiers photographiques existants.

La périodicité des inspections A est de 3 ans mais elle peut être réduite à 1 an si des défauts importants apparaissent.

Pour disposer de plus de flexibilité, trois différentes inspections A ont été créées :

- Inspection A générale : Initialement programmée tous les 3 ans, sa périodicité est allongée à maximum 9 ans si entre-temps sont effectuées deux inspections A de contrôle (voir à la suite).

Ce type d'inspection contient :

- o un formulaire d'inspection ;
 - o un ou plusieurs croquis de l'ouvrage localisant ses défauts ;
 - o les photos et schémas des défauts signalés ;
 - o le rapport d'inspection proprement dit.
- Inspection A spécifique : Est réalisée durant les 3 ans de la périodicité des inspections A générales. Elle est prescrite pour des ouvrages vulnérables et est réalisée uniquement sur le ou les défauts à surveiller. Son contenu est identique aux inspections A générales.
 - Inspection A de contrôle : Elle est planifiée dans le cas d'un ouvrage ne présentant pas de défaut critique. Elle s'intercale entre deux inspections A générales et voit donc la périodicité de ces dernières passer de 3 à 6 ans, voire 9 ans si le pont est dans le groupe de vulnérabilité³ 3, c'est-à-dire peu vulnérable. Pour ce type d'inspection, un formulaire allégé est réalisé. Celui-ci n'a pas de formule bien spécifique et est laissé à l'appréciation du gestionnaire. Attention, dans le cas où un défaut spécifié précédemment a évolué, ou si un nouveau défaut est apparu, des inspections A générales seront à nouveau planifiées.

³ **Groupes de vulnérabilité** : Chaque pont est défini par un sous-groupe de vulnérabilité. Chaque sous-groupe est défini dans un groupe. On comptabilise au total 4 groupes de vulnérabilité (groupe1, groupe2, groupe 3, groupe 4). Chacun de ceux-ci permet, entre autres, de déterminer la périodicité des inspections A.

L'ensemble des rapports d'inspections A est envoyé à la Direction des Conceptions et des Calculs. Après analyse, une inspection B, qui est une inspection spécifique, (2.2.2, p. 16) peut être demandée à la Direction de l'Expertise des ouvrages par la Direction Territoriale ou par la Direction des Conceptions et des Calculs.

À l'heure actuelle, un nouvel outil est apparu pour faciliter les inspections A. Cet outil, qui s'appelle le Bridge-Boy, permet aux inspecteurs de réaliser plus facilement et surtout plus rapidement l'inspection et son rapport. La qualité de l'inspection et du rapport qui l'accompagne s'en voit améliorée et cela permet aussi d'uniformiser les rapports.

Un canevas⁴ spécifique à chaque pont est chargé dans le Bridge-Boy, qui est un pocket-pc, avant d'aller inspecter le ou les ouvrages d'art encodés. Il permet de conduire l'inspecteur d'élément en élément. Pour chaque élément, plusieurs défauts sont proposés avec leurs caractéristiques possibles (ex : face inférieure/ pile deux dans son ensemble/ chevêtre /nid de gravier / densité / quelques), comme le montre la Figure 16.

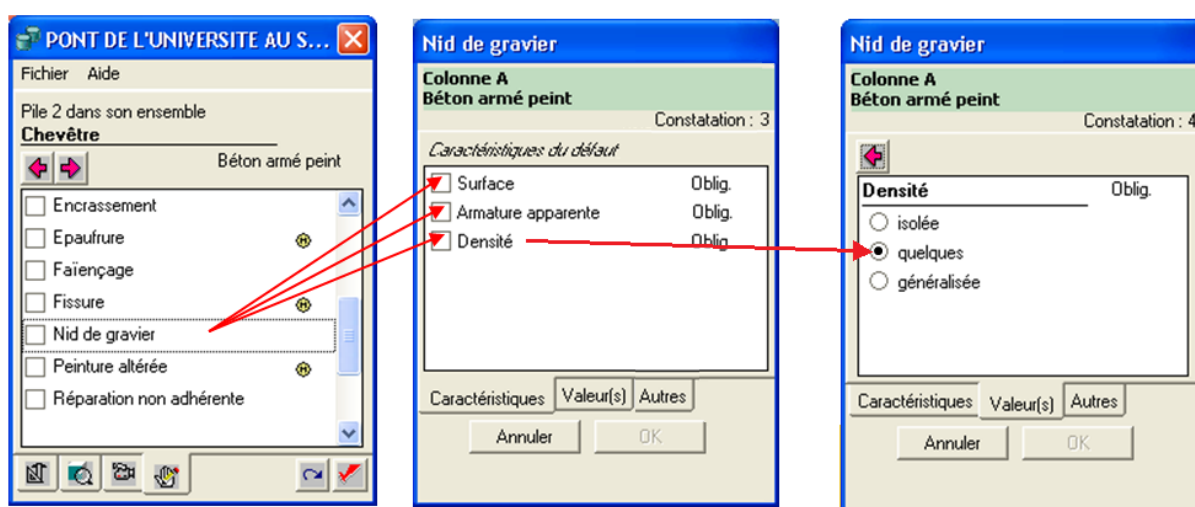


FIGURE 16 : DESCRIPTION FAITE À L'AIDE D'UN BRIDGE-BOY

En revenant de campagne, il suffit à l'inspecteur de transférer les données du Bridge-Boy vers le PC. Un rapport semi-automatique permet alors à l'inspecteur de réaliser celui-ci plus rapidement et plus facilement.

De plus, ce nouvel outil facilitera les inspections ultérieures avec une mise en évidence et une comparaison des défauts encodés lors des inspections précédentes.

⁴ « Canevas : Ensemble de points connus en position servant d'ossature à un levé », Larousse

2.2.2 INSPECTION B

L'inspection B ne porte pas sur l'entièreté de l'ouvrage mais juste sur un ou plusieurs défauts constatés. Ceux-ci sont détectés lors d'inspections A ou de nivellements. C'est donc une inspection ciblée nécessitant souvent un appareillage et/ou des moyens techniques spécifiques propre à la DGO1-65.

Une inspection B est demandée, si nécessaire, par une Direction Territoriale. C'est l'ingénieur gestionnaire qui décide de la gravité du ou des défauts observés. Une inspection B peut aussi être demandée par la Direction des Conceptions et des Calculs suite à l'analyse des contrôles cités précédemment. Ces deux entités en informent la Direction de l'Expertise des ouvrages qui réalisera l'inspection B sur le ou les défauts découverts.

La Direction de l'Expertise des ouvrages dispose de plusieurs méthodes d'analyse pour ses inspections. Elle réalise, si le besoin s'en fait sentir, une instrumentation sur l'ouvrage mais également faire des contrôles destructifs ou non.

Voici quelques exemples de méthodes d'expertises :

- L'instrumentation des ouvrages permet de constater l'évolution de certains paramètres au fil du temps. Les paramètres les plus souvent observés sont la température, les déformations et les déplacements.

Voici un exemple d'instrumentation :

Instrumentation d'une pile du viaduc de Sovet avec des capteurs à fibre optique. Cette instrumentation permet d'observer l'évolution de l'ouverture des fissures dans le chevêtre dues à une RAG⁵.



FIGURE 17 : INSTRUMENTATION D'UN CHEVÊTRE À L'AIDE DE FIBRES OPTIQUES

⁵ **RAG** : Réaction alcalis-granulats. Les réactions alcalis-granulats sont des phénomènes se produisant dans certains bétons. Leur présence se traduit généralement par l'apparition d'une mosaïque de fissures (faïençage). Ce sont des réactions qui se produisent entre certaines formes de silice amorphe ou mal cristallisée (présentes dans le sable et dans les granulats) et des alcalis (Na et K, présents dans le ciment ou apportés par des agents extérieurs tels que les sels de déverglaçage).

- Contrôle non destructif à l'aide d'une caméra infrarouge. Par thermographie infrarouge, on contrôle notamment la bonne mise en place des chapes d'étanchéité.

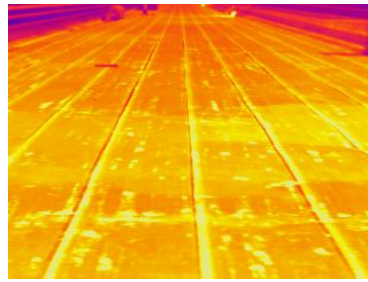


FIGURE 18 : CONTRÔLE PAR THERMOGRAPHIE INFRAROUGE D'UNE CHAPE D'ÉTANCHÉITÉ

- Contrôle destructif comme par exemple le carottage d'une dalle de béton pour analyse en laboratoire de ses composants. Ici, on analyse une faible profondeur de carbonatation ce qui est un facteur indicateur de RAG.



FIGURE 19 : CARBONATATION DU BÉTON

Suite à l'analyse de l'ouvrage, un rapport est rédigé. Une inspection B peut avoir une durée variable allant de quelques heures, en se limitant à une observation visuelle sur terrain, jusqu'à plusieurs années pour une instrumentation.

Le rapport n'a pas de structure particulière. Néanmoins, on y retrouve souvent :

- la présentation de l'ouvrage ;
- l'analyse du défaut ;
- l'évolution possible de celui-ci ;
- les solutions de réparation.

Ce rapport est envoyé à la Direction des Conceptions et des Calculs qui l'analysera et approuvera ou non les solutions proposées.

En conclusion, voici les 5 étapes d'une inspection B :

- détection des défauts ;
- détermination de leur origine ;
- détermination de leur caractère évolutif ou stabilisé ;
- synthèse de la situation effectuée avec les différentes parties concernées ;
- proposition de principe de réparation.

2.2.3 NIVELLEMENT PÉRIODIQUE

Les nivellements périodiques sont à charge des Directions Territoriales et permettent de déterminer les mouvements et les déformations de l'ouvrage au fil du temps. Leur caractère périodique est nécessaire pour observer l'évolution réelle des déformations du pont. Après tout nivellement initial effectué, un nivellement périodique doit être réalisé après chacune des deux premières années.

Après ces nivellements, on décide de la périodicité propre à l'ouvrage. Celle-ci varie de 1 an minimum à 3, 6 ou 9 ans et est déterminée selon le type d'ouvrage et son comportement lors des deux premières années.

Voici à titre indicatif, les critères utilisés pour la classification (réf. : « *Règlement concernant la gestion des ouvrages d'art* ») :

1 an ou moins

- Les ponts qui présentent des faiblesses et défauts importants ;
- Les ponts sur fondations sujettes à des tassements importants ou à des affouillements (fondations dans ou à proximité d'un cours d'eau, en zone karstique, zone minière,...) ;
- Les ponts à tablier en béton léger structurel pendant les cinq premières années.

3 ans

- Les ponts ayant un passé pathologique ;
- Les ponts « cantilever » ;
- Les ponts à tablier en béton léger structurel entre 5 et 10 ans.

6 ans

- Les ponts en béton de plus de 40 m de portée.

9 ans

- Tous les autres ponts.

Une périodicité peut être modifiée à tout moment durant la vie de l'ouvrage suite à son comportement ou à ses déformations stabilisées ou non.

Elle est proposée par la Direction Territoriale suivant les critères cités ci-dessus, et validée par la Direction des Conceptions et des Calculs après étude de l'ouvrage.

Pour que le nivellement soit le plus représentatif possible de la réalité, il est préférable qu'il soit effectué dans des conditions les plus similaires possible à celles du nivellement initial. Autant que faire se peut, le nivellement sera réalisé au cours de la même période de l'année, voire approximativement à la même date. Les conditions atmosphériques seront aussi importantes. La température ambiante de l'air devra être semblable à la température du premier nivellement, de même pour l'état atmosphérique :

- soleil clair ;
- soleil voilé ;
- couvert.

N'étant pas toujours possible de retrouver les conditions identiques à celles du nivellement initial, on note lors de chaque nivellement :

- la température prise à l'ombre avant le nivellement ;
- l'heure de la prise de température ;
- les conditions atmosphériques lors du nivellement.

Tous ces paramètres sont repris afin d'avoir un regard le plus critique possible sur les données obtenues.

Les conditions atmosphériques idéales pour effectuer un nivellement sont :

- une température supérieure à 0°C ;
- un ciel couvert ;
- pas ou peu de vent.

Après avoir mentionné les conditions météorologiques dans le tableau, l'altitude de l'ensemble des repères est notée. Le topographe aura pour tâche de vérifier point par point, si aucun n'a bougé anormalement. Si tel est le cas, il faudra alors niveler à nouveau l'ensemble de l'ouvrage ou, si les mesures sont confirmées, en informer l'ingénieur gestionnaire. Si un mouvement anormal est constaté, la périodicité est remise en question et réévaluée par la Direction des Conceptions et des Calculs en collaboration avec la Direction Territoriale.

Actuellement, pour les nivellements effectués par les Directions Territoriales, les niveaux mis à disposition, au fur et à mesure, sont des niveaux numériques LEICA DNA 10 dont les caractéristiques sont expliquées dans la fiche technique annexée (voir Annexe A). Bien entendu, leur précision est moindre que celle des niveaux utilisés pour les nivellements initiaux mais elle reste tout à fait correcte pour la précision voulue des mesures (de l'ordre du mm).

Pour le nivellement périodique, une procédure simplifiée est souvent mise en œuvre. On ne procède alors qu'au nivellement des repères présents sur le tablier. De plus, si les repères de référence de l'ouvrage sont peu accessibles, le nivellement se basera sur un repère situé sur une culée. Ce repère deviendra la référence pour les nivellements futurs.

A l'heure actuelle, un groupe de travail étudie une procédure type spécifique à chaque modèle d'ouvrage afin d'uniformiser la méthode de nivellement. Suite à la première réunion, le nivellement de ponts ayant une travée continue de faible longueur a été uniformisé.

Pour une longueur allant de 0 à 12 m, voici le schéma de principe ;

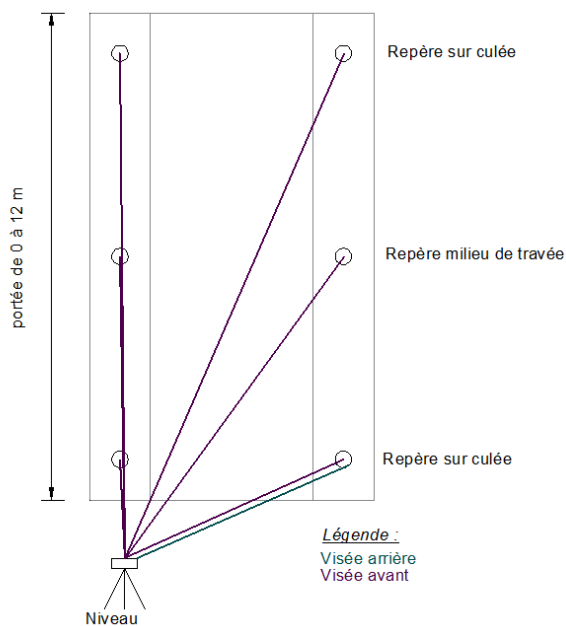


FIGURE 20 : NIVELLEMENT D'UN PONT AYANT UNE PORTÉE COMPRISE ENTRE 0 ET 12 M

On effectue en réalité une visée arrière sur un repère situé au droit d'une culée. Tout en gardant la même mise en station, un rayonnement est effectué sur l'ensemble des repères du pont. Bien entendu, l'équidistance entre les visées sont peu respectées (≈ 3 m minimum jusqu'à 18 m maximum), mais cela se fait au profit d'une seule mise en station, d'où une plus faible perte de précision.

Pour les ponts ayant une portée comprise entre 12 et 60 m, on procède comme suit :

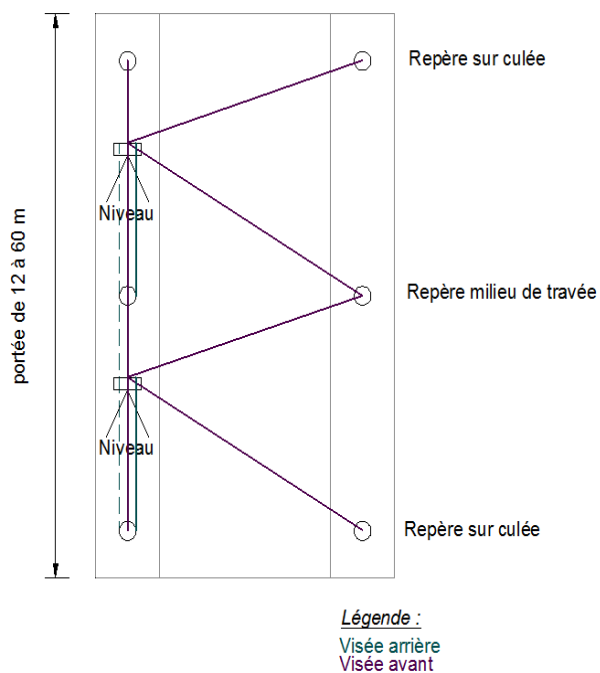


FIGURE 21 : NIVELLEMENT D'UN PONT AYANT UNE PORTÉE COMPRISE ENTRE 12 ET 60 M

Dans ce cas, les portées sont un peu mieux respectées mais on a deux mises en station et donc une perte de précision.

La première mise en station se fait à mi-distance entre le repère sur la culée et le repère à mi-travée. De là, une visée arrière est faite sur le repère situé au niveau de la culée et un rayonnement sur les 4 repères avoisinant le niveau. Ensuite, on déplace le niveau et on le place au $\frac{3}{4}$ du pont. À partir de ce moment, on fait une visée arrière sur le repère à mi-travée et un rayonnement sur les 4 repères mitoyens. Le problème est que la visée arrière est faite sur un repère situé à mi-travée d'une poutre et peut dès lors bouger. Si on veut augmenter la sûreté des données, on réalise une visée arrière sur le premier repère nivelé.

Dans ce schéma, on aperçoit que la station est placée sur le tablier du pont et donc elle subit les mouvements de celui-ci contrairement au premier cas. Mais un nivellement parfait n'existe pas et des compromis doivent malheureusement être faits entre l'emplacement de la station, l'égalité des portées et/ou le nombre de mises en station.

Afin de diminuer au maximum les erreurs de mesure et d'avoir un écart de fermeture le plus faible possible, voici quelques conseils :

- Essayer d'avoir des visées de distances courtes et égales. Ceci permet d'atténuer :
 - o l'effet de la réfraction atmosphérique qui a tendance à courber les rayons lumineux ;
 - o l'erreur de collimation qui est proportionnelle à la longueur des visées et s'élimine lorsque les portées sont égales ;
 - o l'erreur due à la courbure terrestre.
- Se méfier des mires en aluminium et de leur forte dilatation. Une correction de 0.23 mm par mètre de dénivelé et par 10°C d'écart par rapport à la température d'étalonnage doit être apportée. La prudence est d'autant plus de mise lorsque le travail est effectué au soleil. Les mires en bois ou en fibre de verre seront privilégiées vu leur coefficient de dilatation moindre.

Accompagnées de ces conseils voici quelques recommandations à propos du nivellement :

- Bien vérifier chaque repère et son état. Voir si aucune dégradation n'est apparue depuis le dernier nivellement.
- Essayer dans la mesure du possible de réaliser le nivellement avec le même cheminement à chaque fois.
- Éviter de réaliser des nivellements lorsque le soleil est trop ardent car celui-ci crée des vibrations de l'air néfastes à la précision du nivellement. Si tel est le cas, ne pas réaliser le nivellement durant les heures les plus chaudes de la journée et réduire les portées à 15 m.
- Éviter de prendre des mesures lorsque de gros convois passent sur la chaussée. Le trafic lourd provoque des vibrations dans le tablier et cause des déplacements d'air non négligeables.
- S'il pleut ou s'il y a trop de vent, il faudra malheureusement annuler le nivellement.

2.2.4 NIVELLEMENT SPÉCIAL

Tout comme le nivellement initial, le nivellement spécial est un nivellement de précision. Il est réalisé par la Direction de la Géométrie.

Une demande de la part de la Direction Territoriale ou de la Direction des Conceptions et des Calculs, en commun accord avec la Direction Territoriale, est faite à la Direction de la Géométrie.

Ce type de nivellement intervient avant et après tous travaux importants réalisés sur l'ouvrage tels que ;

- remplacement du tablier ;
- travaux réalisés au niveau des appuis ;
- etc...

Il reste donc exceptionnel. Il est unique ou réalisé durant un certain laps de temps à intervalles prédéfinis. Il est rendu périodique durant une courte durée si on veut étudier précisément le comportement du pont après les travaux intervenus sur celui-ci.

3 PROGRAMME DE NIVELLEMENT

3.1 ÉTUDE DES BESOINS

3.1.1 À L'HEURE ACTUELLE

Jusqu'à présent, l'analyse des nivellements se satisfait d'une observation visuelle rapide des repères et de leur variation altimétrique dans le temps. À ceci s'ajoute quelques analyses ponctuelles de ponts problématiques.

La personne effectuant le nivellement se reporte à une fiche de nivellement type (voir Annexe C). Elle y localise les repères et les balises et démarre son nivellement après une prise de paramètres tels que :

- la température extérieure ;
- l'heure ;
- les conditions atmosphériques.

Dans ce fichier type, la première colonne est destinée à l'inscription du numéro du repère et la seconde, de sa hauteur initiale. Un nombre indéfini de colonnes vierges sont disponibles à côté pour l'annotation des nivellements périodiques ultérieurs.

Lorsque le nivellement est terminé, la personne l'ayant effectué encode les nouvelles données manuellement ou informatiquement. C'est alors que l'analyse commence. Bien souvent, un simple contrôle des différences d'altitude des repères est effectué. Le topographe compare les données du nivellement X avec celles du nivellement X-1, ainsi qu'avec celles du nivellement initial, afin de voir ponctuellement si le repère a bougé. Si aucun point n'est alarmant, aucune analyse du pont dans son ensemble n'est faite et le nivellement est alors terminé. Au contraire, si un ou plusieurs points a trop bougé, la limite « trop » étant fixée par le topographe et est souvent de 5 mm, celui-ci se retrouve face à deux choix. Soit le nivellement est à nouveau réalisé pour confirmer ou infirmer le mouvement trop important, soit la Direction des Conceptions et des Calculs est informée et elle analyse plus précisément le nivellement.

Dans les cas les plus critiques, une analyse ciblée du problème observé est réalisée. Mais en aucun cas une analyse systématique n'est effectuée.

De plus, beaucoup de ponts ont peu ou pas été nivelés. On se retrouve dès lors avec un ensemble de ponts ayant largement dépassé leur périodicité depuis leur dernier nivellement ou pire n'ayant aucun nivellement initial. Face à ce manque critique de données et d'outils d'analyses, il m'a été confié la réalisation d'un programme de nivellement s'appliquant à une majorité d'ouvrages.

3.1.2 BESOINS DE LA DIRECTION DE LA GÉOMÉTROLOGIE

La Géométrie est la Direction du SPW qui acquiert, produit et met régulièrement à jour des géodonnées de base (données topographiques de référence, couverture photographique, etc.). Elle réalise des nivellements de précision. C'est notamment elle qui s'occupe des nivellements initiaux et spéciaux pour chaque ouvrage d'art. Elle utilise la feuille de nivellement avec le plan du pont muni des repères et complète la première colonne pour le nivellement initial (Annexe D Document 1).

Dès lors, elle doit avoir accès à un tableau vierge pouvant accueillir un nombre de repères variables pouvant aller de 9 repères (6 repères placés sur l'ouvrage et 3 repères de référence) pour les ponts les plus simples tels que les ponts cadres, à plusieurs dizaines pour les viaducs ou autres ponts à multiples portées.

Ce tableau devra contenir dans un premier temps un minimum de deux colonnes, la première pour le numéro du repère et la seconde pour les données du nivellement initial. En tête de colonne et pour chaque nivellement, le service effectuant le nivellement doit pouvoir indiquer la date, l'heure, la température et le degré d'ensoleillement au moment du nivellement.

Dans la plupart des cas, trois repères de référence sont placés afin de pouvoir valider le nivellement même si un des trois repères est manquant. En effet, deux repères de référence sont au minimum nécessaires pour commencer le nivellement des repères sur l'ouvrage.

3.1.3 BESOINS DES DIRECTIONS TERRITORIALES

Dès que le premier nivellement est réalisé, les Directions Territoriales ont pour devoir d'effectuer périodiquement le nivellement des ponts situés sous leur tutelle. Elle reprend et complète la feuille du premier nivellement. Cette feuille doit nécessairement contenir un nombre indéfini de colonnes vu qu'un pont ayant une périodicité courte et une grande longévité subira un grand nombre de nivellements.

Il peut aussi arriver que durant la vie d'un ouvrage, plusieurs repères lui soient ajoutés comme par exemple des repères sur les culées ou piles. Il faudra dès lors prévoir la possibilité d'ajouter ces repères après que le premier nivellement ait été effectué et que la feuille de base ait été établie.

Des remarques sur certains repères peuvent également être ajoutées (par exemple, repère Z1 manquant ou repère P5 plié). Il faudra aussi prévoir la possibilité d'attacher un commentaire à un repère précis à une date précise. Mais il arrive également qu'un commentaire porte atteinte à tout un nivellement comme dans le cas d'un nivellement réalisé après une longue période de gel ou d'un nivellement réalisé avec un niveau de type DNA 10 ... Enfin, un commentaire peut aussi porter sur l'ensemble des nivellements d'un repère. Pour exemple, « repère de type III car il y a trop peu de place ».

Toutes ces remarques devront être visibles facilement et il sera donc judicieux de reprendre l'ensemble des commentaires dans un tableau récapitulatif.

À chaque nouveau nivellement, toutes les données antérieures devront pouvoir être observées et une visualisation rapide des changements de hauteur devra être faite entre le nouveau nivellement et les nivellements précédents.

Il faudra également veiller à faire ressortir les trop grandes différences de niveaux d'un même point entre deux nivellements à partir d'une certaine limite qui n'est à l'heure actuelle pas encore fixée.

Pour terminer, l'outil d'analyse devra être accessible pour tous les services intervenant dans les nivellements et utilisable par tous ces intervenants. Il devra être simple d'utilisation et intuitif.

3.1.4 BESOINS DE LA DIRECTION DES CONCEPTIONS ET DES CALCULS

La Direction des Conceptions et des Calculs doit pouvoir constater rapidement les mouvements subis par le pont à travers différents graphes et suivre au fil du temps les déformations subies et leur évolution.

Afin d'avoir la possibilité de réaliser, en cas de besoin, ses propres graphes ou analyses complémentaires, elle doit avoir un accès rapide aux données du nivellement.

L'accès aux paramètres, de températures entre autres, lui est aussi nécessaire afin d'avoir un œil critique sur les données reçues.

Les graphes permettant l'analyse doivent être réalisés rapidement pour être utilisé comme support pour un éclaircissement ou une observation.

Une reprise rapide des données pour une analyse plus approfondie doit rester possible.

3.1.5 BESOINS DE LA DIRECTION DE L'EXPERTISE DES OUVRAGES

Dans le but de visualiser et de comprendre au mieux les problèmes, une vision rapide de l'ensemble des données reprises lors du nivellement est nécessaire. Ces données comprennent entre autres les photos ou autres documents annexés.

Pour les nivellements, lorsqu'un problème est détecté, on en informe la Direction des Conceptions et des Calculs. À priori, la Direction de l'Expertise des ouvrages n'intervient pas dans les problèmes de nivellement mais s'appuie sur ceux-ci pour comprendre un mouvement ou des dégâts survenus sur un ouvrage. Une inspection B peut également être requise suite à un nivellement.

Enfin, cette direction a besoin d'un outil d'analyse graphiques de nivellement afin d'interpréter facilement l'évolution temporelle des résultats.

3.1.6 CONCLUSION

Tous ces besoins explicités ont été identifiés après une recherche personnelle au sein de chaque Direction et de chaque acteur.

Après cette recherche, on constate un manque au niveau des nivellements et qu'il est nécessaire de remettre ceux-ci à l'ordre du jour. Le programme présenté au point suivant (3.2 Réalisation d'un programme d'analyse, p. 27) permettra de combler un maximum de demandes de la part des différents partis. Il essaiera d'être en plus le plus didactique et intuitif d'utilisation. Un minimum d'onglets seront créés afin d'avoir une visualisation rapide de ceux-ci sans que certains ne soient cachés suite à leur trop grand nombre dans le classeur.

De plus, le programme devra traiter un répertoire aussi large que possible des ponts tels que :

- des ponts cantilevers ;
- des ponts de type cadres ;
- des ponts haubanés ;
- etc...

Pour terminer, ce programme doit, à court terme, informer les gestionnaires et topographes de toutes anomalies apparues et, à long terme, permettre aux spécialistes d'analyser le comportement de l'ouvrage. D'où, il semble nécessaire que le traitement des données puisse se faire rapidement.

3.2 RÉALISATION D'UN PROGRAMME D'ANALYSE

Pour réaliser ce programme, une recherche des besoins de chaque acteur a été réalisée (point 3.1 p. 23). Accompagné à cette recherche, un examen des tableaux de nivellement existants (Annexe B) et de quelques analyses réalisées a été accompli.

Bien entendu, énormément de graphiques peuvent être insérés dans un classeur Excel. Cependant ce programme se veut alléger, en conséquent un minimum de feuilles y est créé.

Malgré cette faible quantité de graphe, cet outil doit être applicable à une grande diversité de pont et doit les analyser sous toutes leurs coutures. Il a donc fallu choisir les graphiques les plus intéressants et les modifier pour qu'ils soient les plus flexibles possibles.

Grâce à ce choix judicieux de graphes ainsi qu'aux multiples types de points qui peuvent y être encodés, ce programme permet d'analyser de nombreux ponts tels que les ponts cantilevers, les ponts cadres, les ponts poutres, les ponts à haubans, ...

La présentation pour l'encodage des données a été réfléchié pour que le programme soit le plus ergonomique possible. Afin de ne pas changer les habitudes, le tableau des données de nivellement est semblable au tableau manuscrit (Annexe B), néanmoins quelques améliorations y ont été ajoutées (point 3.2.3 p. 32).

Par ailleurs, pour avoir une idée précise du pont analysé, une feuille est consacrée à l'encodage des données propres au nivellement. En dessous de ces données, l'ensemble des commentaires relatifs aux nivellements y sont repris.

Finalement, pour une utilisation optimale du programme un mode d'emploi a été inséré dans la première feuille. Plusieurs commentaires explicatifs sont également inclus tout le long du programme. De plus, pour uniformiser les données, les feuilles d'encodage sont désignées par des onglets verts et les graphiques par des onglets jaunes (Figure 22).

La présentation de ce programme est réalisée feuille par feuille. Pour chaque feuille, l'écran de celle-ci sera figuré suivi des explications la concernant.

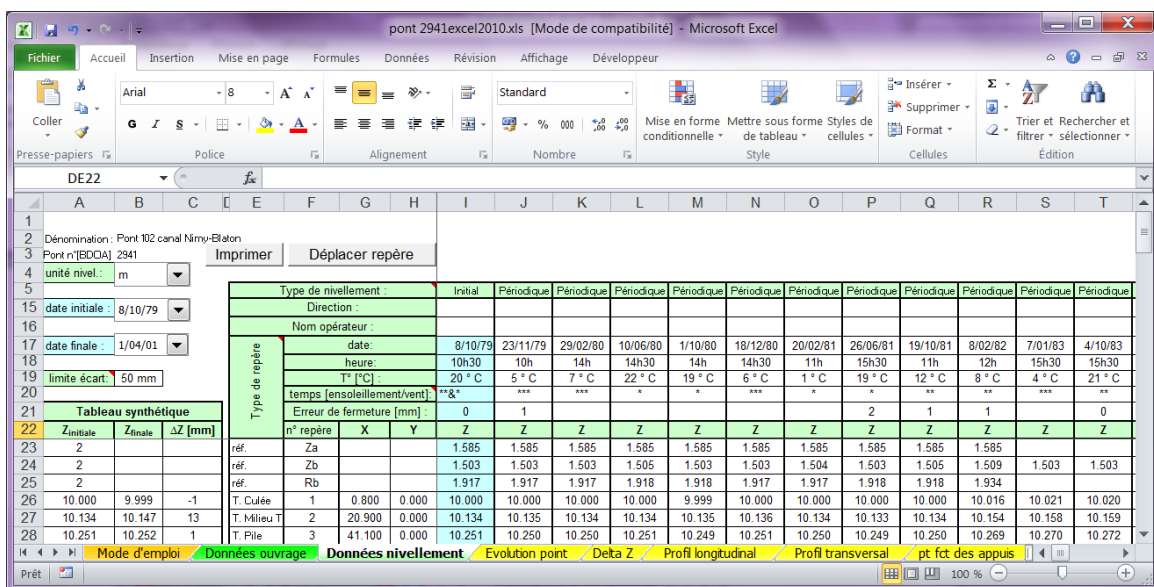


FIGURE 22 : PROGRAMME D'ANALYSE EXCEL

3.2.1 MODE D'EMPLOI

Mode d'emploi :

I. Données ouvrage :

Encoder une des **données** [n° d'identification / n° BDOA / Dénomination] relative au pont.

Double clic sur les **cases** :

- REMARQUES NIVELLEMENT [concerne l'ensemble des données du nivellement à une date précise]
- REMARQUES REPÈRE [concerne un repère en particulier sur l'ensemble de la vie de l'ouvrage]
- REMARQUES REPÈRE PARTICULIER [concerne un repère en particulier à une date précise]

afin d'**afficher** l'ensemble des **commentaires** repris de la feuille "*Données nivellement*".

Possibilité d'encoder manuellement une (des) **remarque(s)** concernant l'**ensemble** du pont dans le tableau "*REMARQUE GÉNÉRALE*".

II. Données nivellement :

Choix de l'**unité** du nivellement en *m* ou *mm*.

Possibilité de **comparer** ΔZ de **deux nivellements** [*date initiale* / *date finale*]. Il est également possible de fixer une **limite d'écart** [mm] pour ΔZ pour **visualiser** les repères ayant trop **bougé**.

Le **code couleur** pour la limite d'écart :

- **ORANGE** : ΔZ est $\geq 75\% < 100\%$ de l'écart choisi
- **ROUGE** : ΔZ est $\geq 100\%$ de l'écart choisi


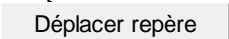
Pour **encoder** des données par *copier/coller* veuillez utiliser le **collage spécial /valeur**.

REMARQUE : Il faut toujours compléter la ligne du premier nivellement de chaque point. Si un point apparaît **après le premier nivellement**, veuillez encoder à la date du nivellement initial la valeur de Z.

Pour **ajouter** une ligne : **double clic** sur la case "**NOUVEAU REPÈRE**".

Pour **ajouter** une colonne : **double clic** sur la case "**NOUVEAU NIVELLEMENT**".

Possibilité de **déplacer** un repère plus haut dans le **tableau**. Pour cela :

- **ajouter** une ligne, c'est-à-dire double clic sur 
- **encoder** les données du point [manuellement ou copier/collage spécial]
- **Selectionner** le bouton 

Pour **imprimer**, selectionner le bouton "**IMPRIMER**" et suivre les instructions.

Pour **insérer** une **image** dans le commentaire, **clique droit** sur la bande "grise" du commentaire lors de la modification de celui-ci. Dans "*Format de commentaire*", aller dans l'onglet "*couleurs et traits*" => "*remplissage*" => "*couleur*" => "*motifi et texture*" => "*onglet image*" => **selectionner une image**.

L'image se placera en **arrière plan** du commentaire. **Attention** à mettre une **couleur** d'écriture du commentaire adaptée pour que celui-ci soit **visible**.

II. Graphiques :

Pour l'**ensemble** des graphiques [sauf **DELTA Z**] les valeurs sont calculées **par rapport au** nivellement initial.

Pour les graphiques : **Delta Z & Profil longitudinal**, veuillez **selectionner** les numéro de repères dans les **listes déroulantes** pour représenter le "*canevas*" du pont concerné.

REMARQUE : Pour le graphique **Delta Z**, on fait [*année finale sélectionnée* - *année antérieure sélectionnée*].

FIGURE 23 : PRÉSENTATION DE LA PAGE MODE D'EMPLOI DU PROGRAMME

La première page permet, en quelques lignes, d'expliquer à l'utilisateur les différentes fonctionnalités et le fonctionnement du programme. Ces explications se font page par page.

Annexé à ces explications, on trouve un ensemble de commentaires qui est disponible tout au long du programme pour en faciliter au maximum la compréhension.

3.2.2 DONNÉES OUVRAGE

	A	B	C	D	E	F	
1	Informations générales						
3	N° identification :	0.016.005.1	Sous la forme : "X-XXX-XXX-X-XX" ID1 : [X] type de la voie principale. 0 = Autoroute 1 = Ring 2 = Voie d'eau 9 = Route nationale 4 = Chemin de fer 5 = Route provinciale 6 = Route communale 7 = Chemin de halage 8 = Chemin touristique ID2 : [XXX] numéro de la voie. ID3 : [XXX] numéro d'ordre sur la voie principale. ID4 : [X] vaut en général 1. ID5 : [XX] numéro de contrôle.				
5	N° d'ordre (BDOA) :	2941					
7	Dénomination :	Pont 102 canal Nimy-Blaton					
9	Dernier nivellement :	4/08/2011					
11	Périodicité :	6 mois					
13	Prochain nivellement :	4/02/2012					
15	Type de structure :	pont cantilever					
17	Moyens d'accès / équipements particuliers :						
21	REMARQUES GÉNÉRALES :						
22	Date :	14/06/1985					Remarques : Des témoins de plâtre sont pusés lors d'une inspection B le 7/3/85 sur les fissures à
26	REMARQUES NIVELLEMENT :						
27	Date :						Remarques :
31	REMARQUES REPÈRE :						
32	Numéro repère :		Remarques :				
36	REMARQUES REPÈRE PARTICULIER :						
37	Date :	N° repère :	Remarques :				
39	10/05/1984	Za	Za modifié				
40	10/05/1984	Zb	Zb modifié				
41	15/06/1990	12	Repère plié				
42	28/11/1991	37	Barrière au dessus				

FIGURE 24 : VISUALISATION DE LA FEUILLE "DONNÉES OUVRAGE"

Cette page a pour but d'être une visualisation rapide du pont et de ses défauts. Il a donc fallu reprendre le minimum d'informations pour savoir de quel pont on parlait et d'évaluer rapidement son état général par rapport au nivellement.

Sur cette page, on retrouve facilement un ensemble de données venant de la BDOA. Elles seront importées grâce à une requête SQL sur la BDOA depuis le fichier Excel.

On y retrouve :

- Le numéro d'identification (1) est l'un des deux numéros régulièrement utilisés lors d'une recherche d'ouvrage d'art dans la BDOA ou autre recherche. Il permet de déterminer la situation du pont par rapport à la voie principale qui passe sur ou sous l'ouvrage. Il est composé de 10 chiffres mis sous la forme présentée à la Figure 25, chaque groupe de chiffres ayant une signification.

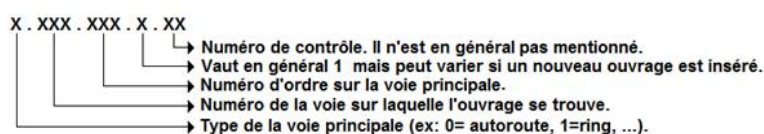


FIGURE 25 : DESCRIPTION DU NUMÉRO D'IDENTIFICATION

- N° d'ordre (BDOA) (2), est également abondamment utilisé pour identifier un ouvrage. Ce numéro est composé de 5 chiffres et il est déterminé par la Direction des Conceptions et des Calculs.
- Dénomination (3) : nom donné à l'ouvrage d'art. Bien souvent, il reprend l'endroit où il se situe (ex : Pont de Seneffe, ...).
- Dernier nivellement (4) : cette donnée est reprise dans le tableau de la BDOA, elle est la date du dernier nivellement effectué.
- Périodicité (5), déterminée par la Direction des Conceptions et des Calculs, elle exprime en mois ou années, l'intervalle maximum entre deux nivellements. Elle est déterminée sur base du type de pont et des constatations faites sur celui-ci. Les périodicités peuvent être de 1 an ou moins, 3 ans, 6 ans ou 9 ans.
- Prochain nivellement (6), est calculé sur base de la date du dernier nivellement augmentée de la périodicité. Si la date obtenue est dépassée, il faudra alors mettre celle-ci en évidence.
- Type de structure (7), repris dans la BDOA sous le concept « Géométrie ». Le type de structure peut être divers, on y retrouve aussi bien des ponts cantilevers, que des ponts cadres, à poutres multiples, isostatiques,....
- Moyens d'accès/équipements particuliers (8), l'ensemble des outils nécessaires à la bonne réalisation du nivellement sera déterminé au fur et à mesure par les personnes ayant effectué le nivellement. Cette case reprend les données reprises dans la BDOA. Elle reste éditable à tout moment.

De plus, cette page reprend l'ensemble des remarques qui sont soit écrites sur la page même, soit insérées dans le tableau de données situé sur la feuille suivante appelée : « Données nivellement ». Ceci permet un aperçu des défauts ou autres points faibles du pont en un coup d'œil.

Il existe 4 types de remarques ;

- Remarques générales (9), ce sont des remarques écrites sur la page même. Elles se reportent sur tout l'ouvrage et permettent de juger rapidement son état.
- Remarques nivellement (10), ce tableau permet de faire une recherche sur l'ensemble des commentaires écrits à la ligne 5 de la feuille « Données nivellement ». C'est-à-dire qu'il reprend les commentaires correspondants à un nivellement. Par exemple : « 3/03/2010 nivellement effectué après une grande période de gel ».
- Remarques repère (11), comme le tableau précédent lors du double clic sur la case « REMARQUES REPÈRE », la macro dissimulée derrière va chercher l'ensemble des commentaires concernant un repère en particulier dans la feuille « Données nivellement ». Pour chaque repère marqué, son numéro et son commentaire seront repris. Les commentaires sont repris de la colonne F. Si un nouveau commentaire est inscrit dans celle-ci, il faudra alors réactiver la case « REMARQUES REPÈRE » et une réactualisation des données sera alors effectuée. On y retrouve par exemple au repère numéro 5 : « utilisation d'un repère de type III car manque de place sur le trottoir ».
- Remarques repère particulier (12), ici on reprend chaque commentaire placé dans le tableau à partir de la ligne 23 et de la colonne I. On y reprend les données suivantes :
 - o la date ;
 - o le numéro du repère ;
 - o le commentaire.

La macro⁶ qui permet de reprendre les commentaires dans la feuille « Données nivellement » se base sur le logigramme de la Figure 26. Que ce soit pour les « REMARQUES GÉNÉRALES », les « REMARQUES NIVELLEMENT » ou les « REMARQUES REPÈRE », le procédé est le même et se base sur ce logigramme.

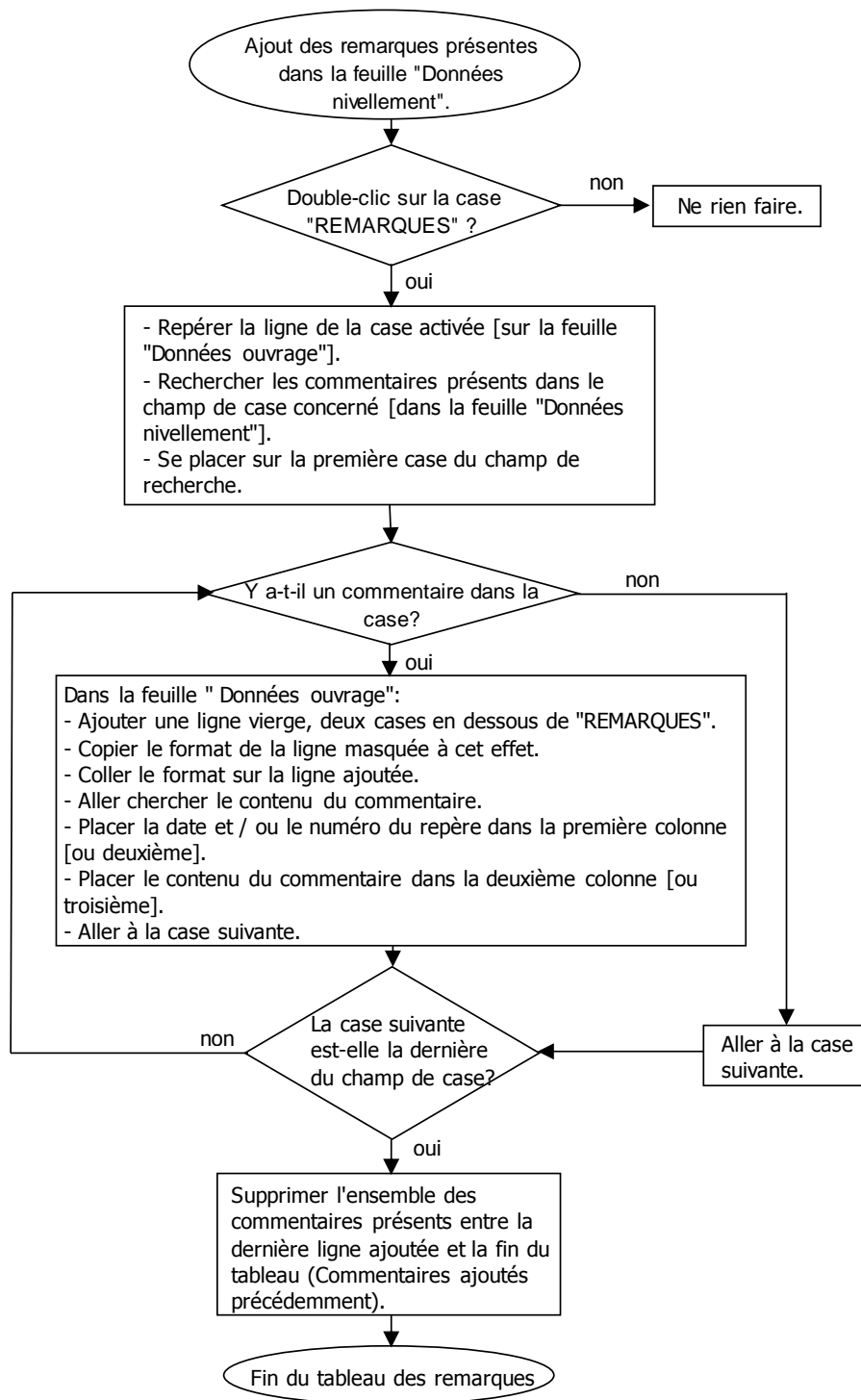


FIGURE 26 : LOGIGRAMME DE LA MACRO « AJOUT DES REMARQUES ».

⁶ Une macro est une action ou un ensemble d'actions qui permet d'automatiser des tâches. Les macros sont enregistrées dans le langage de programmation Visual Basic pour Applications.

3.2.3 DONNÉES NIVELLEMENT

Initial : Premier nivellement réalisé par la Direction de la Topographie et de la Cartographie.
Spécial : Nivellement de contrôle requérant le maximum de précision. Réalisé par la Direction de la Topographie et de la Cartographie.
Périodique : Nivellement réalisé périodiquement à charge de la Direction Territoriale.

Tableau synthétique

Z _{initiale}	Z _{finale}	ΔZ [mm]
2		

Legend:
 Rouge : ΔZ est ≥ 100% de l'écart choisi
 Orange : ΔZ est ≥ 75% < 100% de l'écart choisi
 Blanc : ΔZ est < 75% de l'écart choisi

Weather Legend:
 * : soleil clair
 ** : soleil voilé
 *** : couvert
 # : vent calme
 ## : légère brise
 ### : léger vent

réf.	n° repère	X	Y	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
	1	1,585	1,585	1,585	1,585	1,585	1,585	1,585	1,585	1,585	1,585	1,585
	2	1,503	1,503	1,503	1,505	1,503	1,503	1,504	1,503			
	3	1,917	1,917	1,917	1,918	1,918	1,917	1,917	1,918			
	4	0,000	10,000	10,000	10,000	10,000	9,999	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
	5	0,134	10,135	10,134	10,134	10,135	10,136	10,134	10,133	10,152		
	6	0,251	10,250	10,250	10,251	10,250	10,249	10,251	10,250	10,255		
	7	0,293	10,287	10,288	10,290	10,287	10,290	10,287	10,288	10,282		
	8	0,390	10,384	10,384	10,386	10,385	10,383	10,385	10,385	10,379		
	9	0,430	10,430	10,426	10,426	10,426	10,430	10,426	10,427	10,366		
	10	10,601	10,603	2	10,601	10,599	10,600	10,601	10,600	10,602	10,605	
	11	10,701	10,719	18	10,701	10,699	10,700	10,699	10,700	10,701	10,724	
	12	10,749	10,747	-2	10,749	10,749	10,749	10,748	10,749	10,750	10,749	
	13	10,318	10,313	-5	10,318	10,318	10,318	10,318	10,319	10,318	10,320	10,313
	14	11,256	11,267	11	11,256	11,255	11,256	11,256	11,257	11,258	11,257	11,257
	15	11,365	11,365	0	11,365	11,364	11,365	11,364	11,367	11,366	11,364	10,582

FIGURE 27 : PRÉSENTATION DE LA FEUILLE "DONNÉES NIVELLEMENT"

Cette feuille reprend l'ensemble des données des différents nivellements réalisés. Elle se veut fort semblable aux feuilles manuscrites existantes afin de ne pas changer les habitudes de leur utilisateur. De plus, celles-ci ont été longuement réfléchies et sont très intuitives.

On y retrouve un tableau à double entrée (1) reprenant verticalement l'ensemble des repères et horizontalement les nivellements effectués. Le nombre de repères et de nivellements est fixé aléatoirement au début mais peut être variable. Une macro permet alors d'ajouter des repères (2) ou des nivellements (3) à la fin du tableau à n'importe quel moment, autant lors de l'encodage du premier nivellement que lors d'un nouveau nivellement.

Pour les repères et les nivellements, ces macros se basent sur les logigrammes suivants :

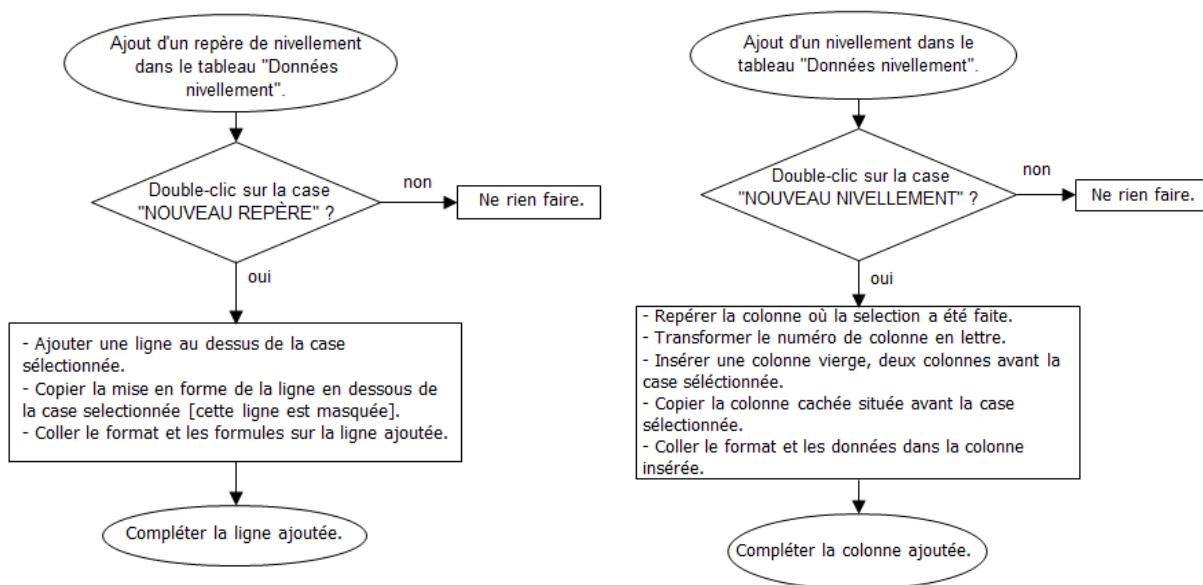


FIGURE 28 : LOGIGRAMME DE LA MACRO "NOUVEAU REPÈRE" & "NOUVEAU NIVELLEMENT"

Lors de chaque nouveau nivellement, les données ci-dessous sont demandées :

- Type de nivellement (4), il est initial, périodique ou spécial (chapitre 2, p.). Un menu déroulant s'affiche et nous permet de sélectionner le type du nivellement effectué.
- Direction (5), cette donnée n'était pas demandée systématiquement pour chaque nivellement auparavant. Elle se révèle intéressante si le nivellement a été réalisé exceptionnellement par une autre équipe, ayant une autre méthode (par exemple, suite à un surplus de travail ou autre).
- Nom opérateur (6), également une donnée non reprise systématiquement mais qui devient pertinente si la personne ayant effectué le nivellement a changé. On pourrait alors avoir une autre méthode de travail ou une précision différente.
- Date (7), ici on donne juste la date en jours / mois / années. C'est une donnée reprise de la feuille type existante. Grâce à cette donnée, on a une approche plus critique concernant le nivellement. On voit également si ceux-ci ont été réalisés à des périodes similaires de l'année.
- Heure (8), on y met approximativement l'heure à laquelle a été effectué le nivellement.
- Température (9), la température est donnée en degré Celsius et est prise juste avant le début du nivellement. C'est le troisième élément permettant de donner une idée de la comparaison qui pourra être faite entre les nivellements.
- Temps (10), grâce à une échelle de symboles, on se fait rapidement une idée de l'état du ciel lors du nivellement.

On a comme symbole :

- * : Soleil clair
- ** : Soleil voilé
- *** : Couvert

- # : Vent calme : ceci correspond à un degré 0 sur l'échelle de Beaufort, c'est-à-dire qu'on ne sent pas de vent et la fumée s'élève verticalement.
- ## : Légère brise : équivaut au niveau 1-2 sur l'échelle et correspond à un vent perçu sur le visage, les feuilles frémissent et les girouettes tournent.
- ### : Léger vent : coïncide au niveau 3, on peut alors voir les drapeaux se déployer, les feuilles et les rameaux sont sans cesse agités.

Ces quatre derniers paramètres permettent d'être plus critique lors de l'analyse. Si on se retrouve avec des conditions fortement semblables entre les nivellements, l'analyse sera correcte et aucune rectification ne devra y être apportée. Au contraire, si on se retrouve avec deux nivellements dont le premier a été effectué en été sous un soleil clair avec une température de 20°C en plein milieu de l'après-midi, et le second ayant été effectué durant une matinée hivernale juste après une longue période de gel, les résultats obtenus ne seront pas comparables ou du moins une grande prudence sera de mise.

- Erreur de fermeture (11), dernier paramètre demandé, celui-ci permet d'avoir une approche critique sur les résultats obtenus. Plus l'erreur de fermeture est grande, moins les résultats seront précis.

Lorsque tous ces paramètres sont encodés, on complète alors les altitudes Z (12) de chaque point nivelé et ce, pour chaque nivellement initial, périodique ou spécial.

Mais avant tout, lors du premier nivellement, un ensemble de paramètres différents est à encoder. On demande pour chaque nouveau repère d'en encoder le type (13) qui peut être :

- Réf. Il s'agit d'un repère de référence ou d'une balise.
- Culée : on y reprend l'ensemble des repères placés sur une culée.
- Pile : repères placés directement sur la pile, ils sont souvent du type I.
- T. Culée : repères situés sur le tablier au droit de la culée.
- T. Pile : repères situés sur le tablier au droit d'une pile.
- T. Bec : ce type de repère est spécifique au pont cantilever. Il reprend l'ensemble des repères situés sur le tablier au droit des becs, que celui-ci soit du côté de la portée centrale ou du côté de la pile.
- T. milieu T : repères situés sur le tablier au niveau du milieu de la travée.
- Autre : ceci permet d'encoder tout autre type de repère non repris dans cette liste, afin d'encoder un maximum de cas possibles.

On demandera également d'encoder le numéro ou nom du repère (14). Bien souvent, le nom générique {P1, P2, ...} sera donné à un repère situé sur une pile et {C1, C2, ...} le nom donné à un repère situé sur une culée. Les repères de référence sont nommés {Z1, Z2, ...} Les autres types de repères sont numérotés classiquement {1, 2, 3,...}

Par la suite, on demandera, pour les repères situés sur le tablier, de donner leurs coordonnées X et Y (15). Ces données seront exprimées en mètre. Elles sont nécessaires pour l'établissement des graphes « Delta Z », « Profil longitudinal » et « Profil transversal ».

Lorsque toutes les données citées sont encodées, différentes fonctions sont proposées à l'utilisateur :

- Il peut comparer deux nivellements (16) et voir rapidement la différence, en mm, entre le premier et le deuxième nivellement et ceci pour chaque point encodé. Il suffit à la personne de sélectionner la date initiale (17) et la date finale (18) dans des listes déroulantes. De plus, grâce à une mise en forme conditionnelle et après avoir choisi une limite d'écart (en mm) (19), on observe rapidement les points ayant un delta Z supérieur à la limite en rouge et les points s'en approchant (75 à 100 %) en orange. Ce petit ajout permet de voir rapidement les différences existant d'un nivellement à l'autre sur chaque point, autant pour la personne effectuant le nivellement que pour la personne analysant celui-ci. Une autre mise en forme conditionnelle dans le tableau de données permet de voir rapidement les nivellements qui ont été sélectionnés et les valeurs qui sont comparées. Ces valeurs se mettent en bleu clair (20).
- Après comparaison de différents tableaux de nivellement, les analyses démontrent que les données encodées peuvent être faites en *m* ou en *mm*, c'est pourquoi il est possible d'encoder les valeurs dans ces deux unités (21). Afin d'obtenir des calculs exacts et des graphes corrects, il est demandé à l'utilisateur de préciser l'unité utilisée.
- Une simple copie des éléments « Dénomination » et « N° BDOA » (22) de l'ouvrage venant de la feuille « Données ouvrage » permet d'insérer les renseignements de base sur l'ensemble des feuilles suivantes. Cette fonction anodine permet de rattacher facilement à un pont les feuilles imprimées si elles sont hors de son rapport.

- Il est possible à l'utilisateur d'encoder des commentaires manuellement. Ils seront repris grâce à la commande mentionnée au point 3.2.2 p. 29. Ces commentaires insérés permettront de détecter facilement les problèmes signalés.
- Un bouton « IMPRIMER » (23) permet à l'utilisateur de choisir les feuilles qu'il veut sous format papier. Lorsqu'on clique sur ce bouton, une fenêtre s'ouvre et donne le choix des feuilles du classeur que l'utilisateur peut imprimer. Si l'utilisateur a créé un nouveau graphe dans une nouvelle feuille, celle-ci est également présentée dans le choix qui s'affiche. Voici un aperçu de la page qui s'ouvre, elle est créée grâce à un UserForm⁷ et se nomme « UserForm2 » :

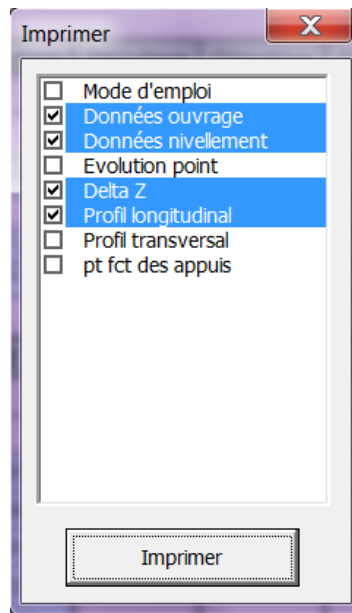


FIGURE 29 : FENÊTRE POUR LE CHOIX DES FEUILLES À IMPRIMER

⁷ Les **UserForm** (USF) servent à créer des boîtes de dialogue personnalisées. Vous pouvez y ajouter des contrôles afin de mettre en place une interface utilisateur adaptée à votre projet. Il sera ainsi possible d'effectuer des saisies depuis ce support préformaté ou y visualiser des informations très diversifiées (textes, données numériques, images, vidéos...)

Derrière ce bouton « IMPRIMER » se cache une macro telle que décrite ci-dessous :

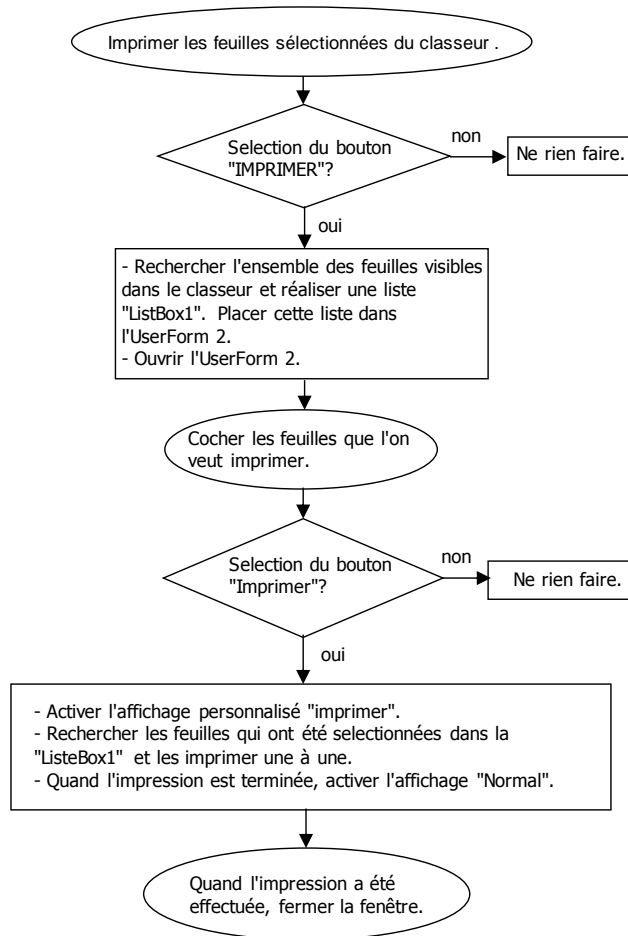


FIGURE 30 : MACRO DE LA FONCTION "IMPRIMER"

- La dernière commande existante est cachée derrière le bouton « Déplacer repère » (24). Lors d'un ajout ultérieur de repères, cette fonction permet de pouvoir les replacer correctement dans le tableau. Par exemple, si un repère de référence est ajouté avant le 4^{ème} nivellement, il faudra l'ajouter à la fin du tableau pendant l'encodage du nivellement. Dans un premier temps, il sera placé en fin de tableau mais sa place la plus appropriée sera là où se situent tous les repères de référence. La fonction « Déplacer repère » permet alors le placement de ce repère à sa nouvelle place. Lorsque vous cliquez sur le bouton « Déplacer repère », voici la fenêtre qui s'ouvre à vous :

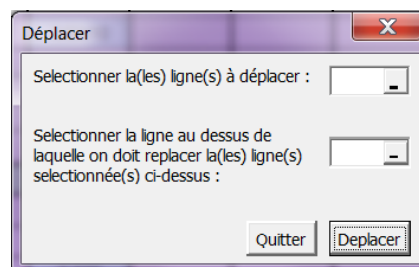


FIGURE 31 : FENÊTRE PERMETTANT DE SÉLECTIONNER LES LIGNES À DÉPLACER ET LEUR NOUVEL EMPLACEMENT POUR LE DÉPLACEMENT DE REPÈRE(S) DANS LE TABLEAU

Grâce au premier contrôle RefEdit⁸, la ou les lignes à déplacer peuvent être désignées sur la feuille « Données nivellement ». Lorsque celles-ci sont sélectionnées, après avoir appuyé sur enter, un second RefEdit permet d'indiquer la ligne au-dessus de laquelle les lignes choisies précédemment doivent être déplacées. Lorsque celle-ci est sélectionnée, cliquez sur le bouton « Déplacer » et la macro permet de mettre à leur place les lignes voulues. Attention, s'il manque une ou les deux sélections, un message d'erreur suivant est affiché :

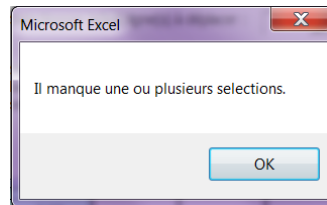


FIGURE 32 : MESSAGE D'ERREUR S'AFFICHANT S'IL MANQUE UNE OU PLUSIEURS SÉLECTIONS

Le bouton « Quitter » permet de fermer la fenêtre sans qu'un changement ne soit effectué. Voici le logigramme de la macro appropriée :

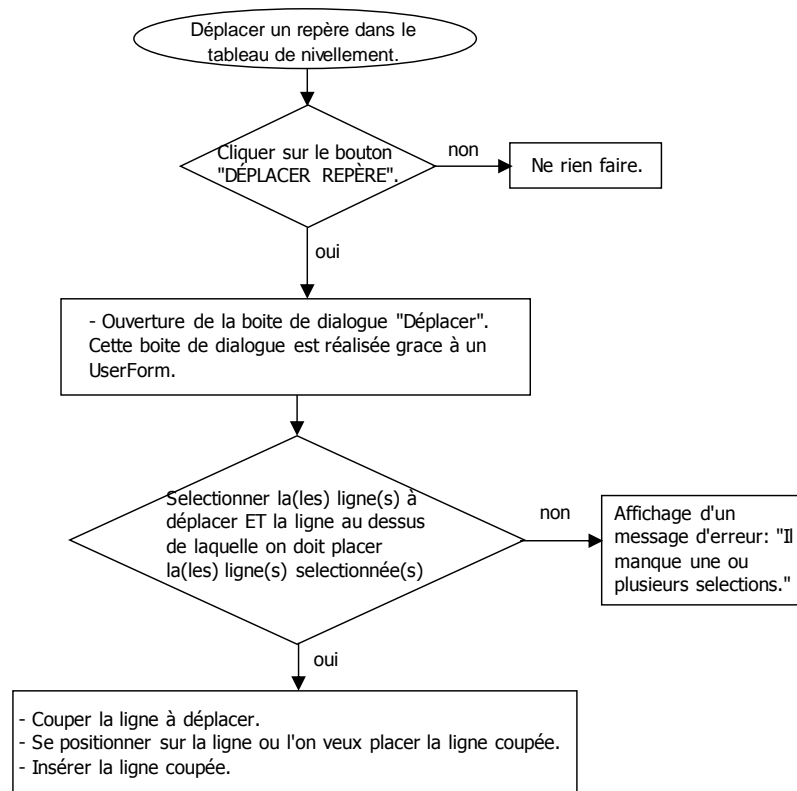


FIGURE 33 : LOGIGRAMME DE LA MACRO "DÉPLACER REPÈRE"

Tout cet ensemble de fonctions permet une utilisation simple et diversifiée du programme afin d'encoder une grande variété de ponts. Il se veut pluridisciplinaire.

⁸ **RefEdit** : Ce contrôle placé dans un formulaire affiche l'adresse d'une plage de cellules que vous avez entrée ou sélectionnée dans une feuille de calcul.

3.2.4 ÉVOLUTION DU POINT EN FONCTION DU TEMPS AVEC PROFIL DES TEMPÉRATURES

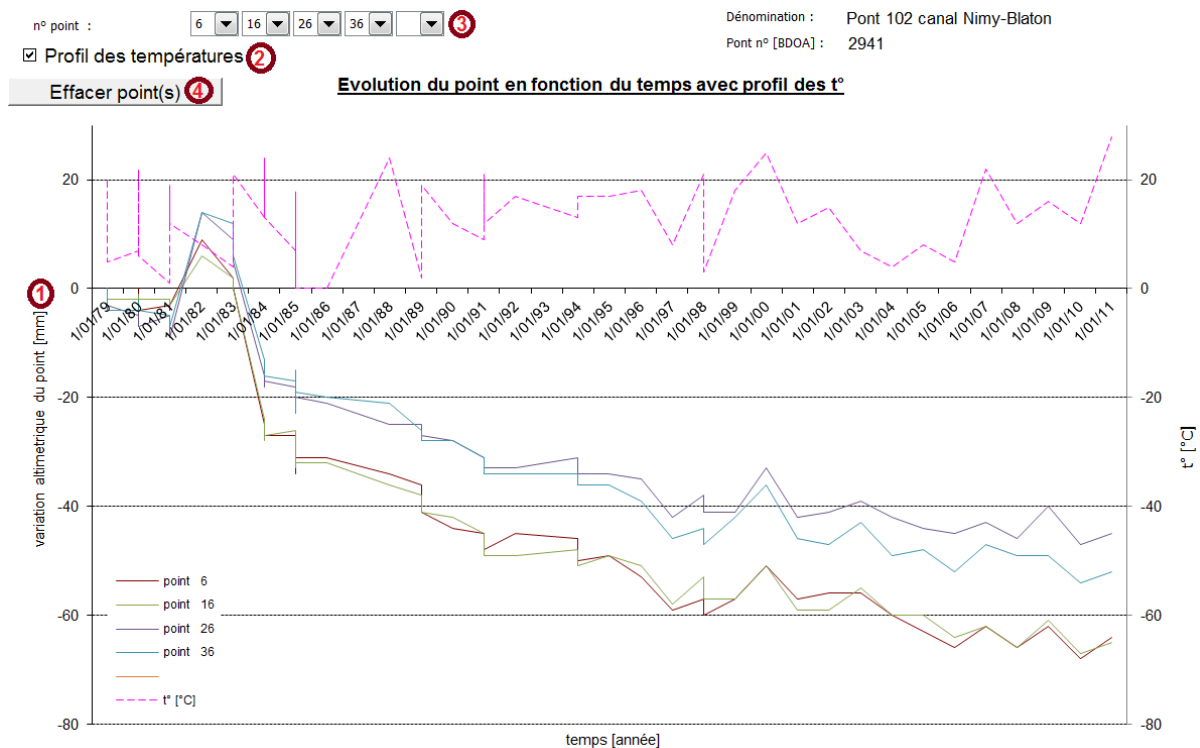


FIGURE 34 : GRAPHE DE L'ÉVOLUTION D'UN POINT EN FONCTION DU TEMPS

Cette page est un graphique inséré en tant que nouvelle feuille dans le classeur tout comme l'ensemble des graphiques présents dans le programme. Pour l'ensemble des graphiques, on laisse par défaut l'échelle des axes en valeur automatique.

Ce premier graphique représente l'évolution d'un ou de plusieurs points en fonction du temps. On y voit la variation d'altitude en *mm* (1) que le point a pris durant les dates étudiées. Une page masquée permet de calculer la hauteur du point à la date X diminuée de la hauteur du point à la date initiale et ce pour chaque point et en chaque nivellement. On obtient alors la variation relative du point X à la date Y en fonction du nivellement initial.

De plus, le profil des températures est ajouté au graphe et peut être retiré grâce à une simple case à cocher activée ou non (2). Ce profil permet d'avoir un œil critique sur les évolutions observées des points. En effet, si la variation altimétrique entre deux points est anormalement élevée, une vérification rapide de l'évolution des températures permettra au contrôleur de voir si cette modification n'est pas due aux températures trop différentes.

Dans ce graphe, l'utilisateur distingue l'évolution de 1, 2, 3, 4 ou 5 points (3), ce qui permet d'analyser tout un profil transversal ou un ensemble de repères semblables. Les points à analyser sont choisis à l'aide du menu déroulant reprenant les repères encodés dans la feuille « Données nivellement ».

Divers boutons « EFFACER » permettent de vider les menus déroulants grâce à une macro. Tous ces boutons sont actionnés par des macros qui se basent sur le logigramme suivant :

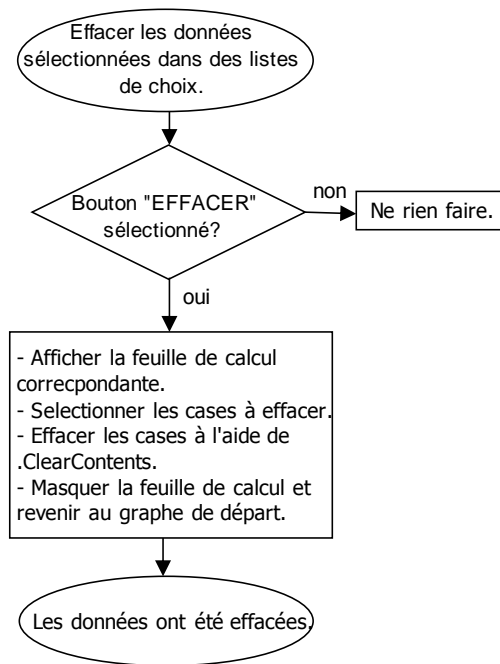


FIGURE 35 : LOGIGRAMME POUR L'ENSEMBLE DES BOUTONS "EFFACER"

Sur ce graphe, un bouton « Effacer point(s) » (4) permet de supprimer le contenu des 5 listes déroulantes présentes sur la page.

3.2.5 ÉVOLUTION DES DÉFORMATIONS SUR LE TABLIER

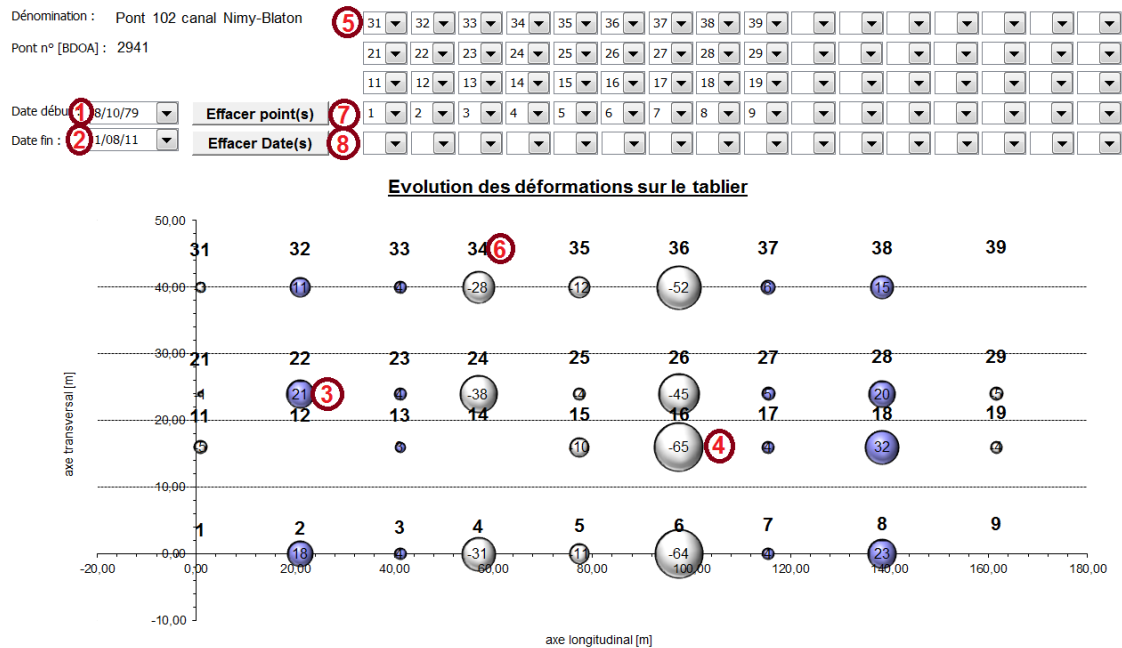


FIGURE 36 : GRAPHIQUE DE L'ÉVOLUTION DES DÉFORMATIONS SUR LE TABLIER

Le graphe représente l'évolution des repères situés sur le tablier en fonction du temps. Après avoir choisi une date de début (1) et une date de fin (2) d'analyse, la grosseur des points du graphe permet d'évaluer la variation altimétrique du repère entre ces deux dates. Plus le repère est large et bleu (3) plus il s'est levé. Au contraire, plus il est large et gris (4) plus il s'est enfoncé. La grosseur du point est simplement donnée par la différence entre l'altitude du point au temps final sélectionné diminuée de l'altitude du même point au temps initial choisi.

On effectue la petite équation suivante :

$$Z(t=B) - Z(t=A)$$

Où A date initiale
B date finale

Ce graphe permet de voir le tablier dans son ensemble et d'évaluer rapidement la dynamique qu'il prend au fur et à mesure des années. Il est possible d'y repérer des points où des parties de pont qui descendent trop dangereusement ou au contraire des points remontant anormalement.

Pour cela, l'ensemble du canevas⁹ du pont doit être encodé dans les listes déroulantes (5) prévues à cet effet. Chaque point situé sur le tablier est encodé dans une liste déroulante. Les axes des abscisses et des ordonnées permettent de visualiser plus ou moins le pont.

Le numéro du repère (6) est repris au-dessus de chaque bulle. Pour que ceux-ci s'inscrivent, il faut nécessairement donner au repère un chiffre et non une lettre.

Tout comme le graphe précédent, un bouton « Effacer point(s) » (7) permet de vider les listes remplies au choix. Un second bouton « Effacer date(s) » (8) permet d'effacer les dates sélectionnées dans les menus déroulants prévus à cet effet.

⁹ Canevas (nivellement) : Ensemble de points connus en position servant d'ossature à un levé.

3.2.6 PRÉSENTATION DU PROFIL LONGITUDINAL

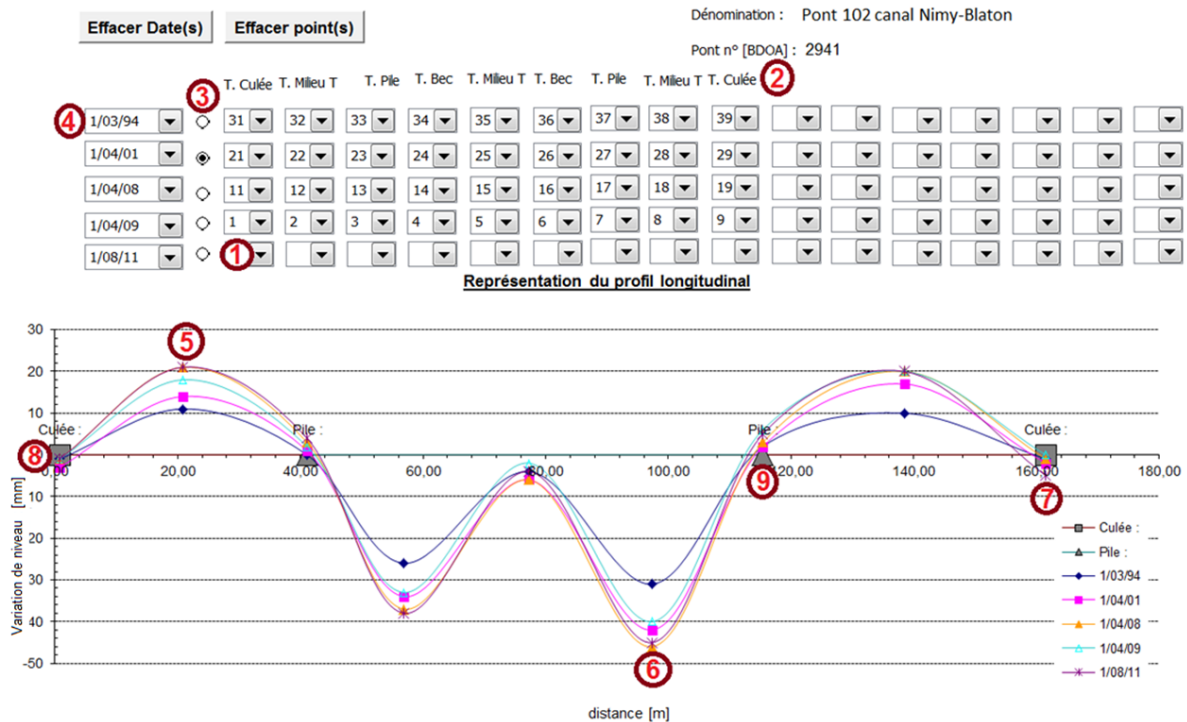


FIGURE 37 : GRAPHIQUE DU PROFIL LONGITUDINAL

Tout comme le graphe précédent, le canevas du pont doit être encodé point par point (1). Ce travail est nécessaire et n'est à faire qu'une fois en théorie. En effet, les repères du pont ne changent à priori jamais.

Le type de repère (2) est repris au-dessus de chaque menu déroulant, ce qui permet une visualisation rapide des points situés sur le profil longitudinal.

Une liste de boutons (3) à choix unique permet de choisir le profil longitudinal que l'on veut analyser. Étant donné que l'ensemble du pont est à encoder, on passe très vite d'un profil à l'autre. En effet, si on veut comparer rapidement deux profils entre eux, il suffit de les sélectionner l'un à la suite de l'autre et non pas à chaque fois les encoder point par point. Il ne sert à rien d'avoir deux profils différents sur le même graphe car bien souvent ils sont situés sur deux poutres différentes qui n'ont pas ou peu de liaisons.

Sur ce graphe, on compare un profil longitudinal sur 1, 2, 3, 4 ou 5 dates différentes (4). Si on décidait de comparer toutes les nivellements, cela pourrait très rapidement être gênant et illisible. En effet la présence de plus de 10 profils très semblables risquerait de ressembler plus à un trait gras qu'à 10 profils distincts. Afin de les différencier, une légende reprend tous graphes et leurs dates correspondantes.

On voit également à une date X l'allure que prend le pont sur un profil. On constate rapidement les points faibles, ceux qui montent (5) ou descendent (6) étrangement. On peut observer des phénomènes ne devant pas apparaître, par exemple un repère de pile ou de culée se tassant (7). Ce genre de phénomène alerte les personnes analysant le pont et de ce type d'observation découlent des inspections B avec instrumentation ou autres analyses.

On peut également voir au fur et à mesure du temps des poutres précontraintes se bomber à cause de la contrainte induite dans le béton. Comme le montre ce graphique représentant un des profils longitudinaux d'un pont cantilever, on voit la poutre centrale se bomber de plus en plus.

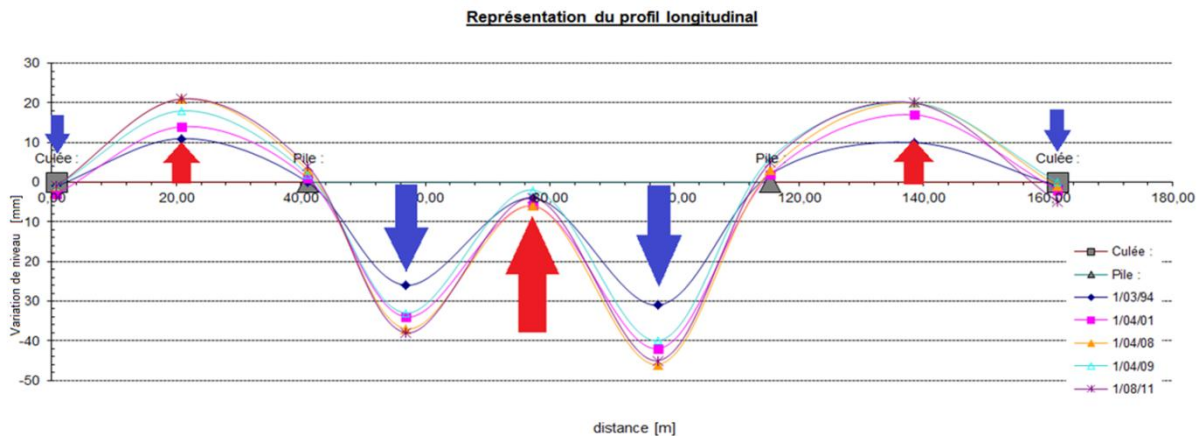


FIGURE 38 : PROFIL LONGITUDINAL DU PONT 102 CANAL NIMY-BLATON

Sur ce graphique les points d'appuis sont représentés par des carrés (8) pour les culées et des triangles (9) pour les piles, accompagnés de leur signification. Cette représentation de points particuliers permet de rapidement visualiser le pont et ses points qui sont censés être fixes. Si un repère situé au niveau d'une pile descend trop fortement, il faudra alors analyser cette pile de plus près et regarder directement le comportement du repère situé sur la pile. Cela se fait également grâce au premier graphique.

On peut également, pour être plus complet, comparer le point situé sur la pile et le point correspondant situé sur le tablier au niveau de la pile. On verra alors si la pile descend réellement ou s'il s'agit d'un problème au niveau de l'appui.

L'ensemble des points sont représentés en relatif par rapport au nivellement initial. On effectue pour chaque point une soustraction entre l'altitude au temps final, diminué de l'altitude lors du nivellement initial.

Le fait de pouvoir choisir ses nivellements pour la représentation et de ne pas analyser tous les nivellements en même temps permet de sélectionner des dates où le nivellement a été effectué dans des conditions les plus semblables, c'est-à-dire :

- La même période de l'année, plus ou moins le même mois, afin de se situer toujours après une grande période de chaleur ou au contraire après une grande période de gel. En effet, le béton ayant une inertie assez grande, comparer un nivellement en été avec un nivellement en hiver n'est pas très conseillé.
- Avoir une température semblable. Un pont a un comportement différent lorsqu'on le nivelle à 25°C ou à 5°C et on risque d'avoir des écarts d'altitude juste à cause de la température, même si le pont a une inertie non négligeable.
- Un ensoleillement similaire. Le temps parfait pour niveler est un ciel légèrement nuageux et sans vent, mais ces conditions ne sont pas souvent remplies. Pour une optimisation des comparaisons, on essaie de retrouver le même ensoleillement lors des nivellements.

C'est pourquoi il est intéressant de choisir judicieusement les nivellements à analyser.

3.2.7 PRÉSENTATION DU PROFIL TRANSVERSAL

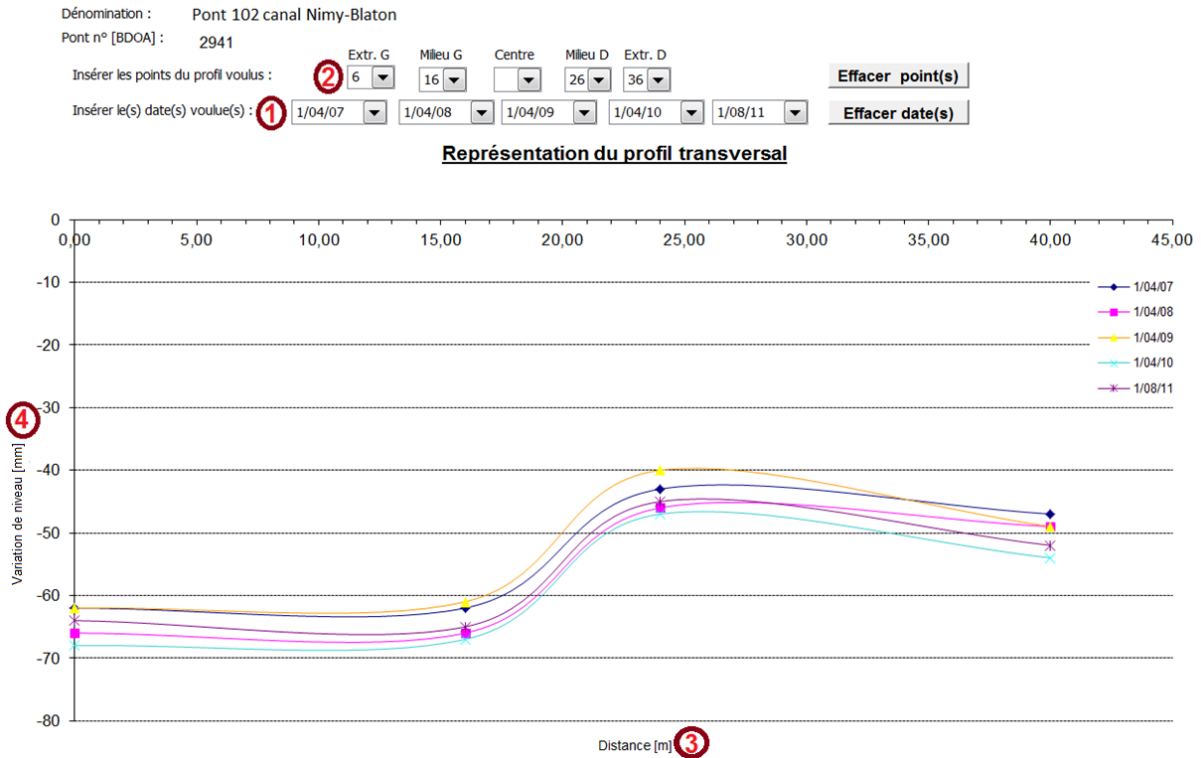


FIGURE 39 : PRÉSENTATION D'UN PROFIL TRANSVERSAL

Ce graphique permet de visualiser rapidement un profil longitudinal après l'avoir encodé manuellement. Tout comme le graphe précédent, on peut comparer un profil encodé entre 5 dates différentes (1).

Sur ce graphique, on ne doit pas encoder l'ensemble des points situés sur le tablier mais juste les points du profil qui nous intéressent (2). On encode jusqu'à 5 points par profil. Par exemple, on encode le profil situé sur un bec et on vérifie ensuite s'il se comporte correctement, c'est-à-dire, s'il ne prend pas trop l'allure d'une « panse de vache » ou encore si un point ne remonte pas trop par rapport aux autres.

L'axe des abscisses et l'axe des ordonnées permettent respectivement de visualiser la longueur du profil [m] (3) et la flèche que prend le point [mm] (4).

Comme dans le graphe précédent, on se réfère à chaque fois au premier nivellement.

Les flèches sont calculées comme suit :

$$Z(t=X) - Z(t=0) = \text{Flèche.}$$

3.2.8 ÉVOLUTION DU POINT FONCTION DE SES APPUIS

Ce graphe permet de voir l'évolution d'un point en tenant compte de l'affaissement ou de l'élévation de ses appuis. Par exemple, pour un pont cantilever, les becs des portes à faux situés en travée centrale ont tendance à descendre au fur et à mesure du temps. Cette descente des becs est due au fluage, la flèche augmente sous poids constant. Parallèlement à ce phénomène, la travée centrale, lorsqu'elle est précontrainte, a tendance à se courber vers le haut (voir Figure 40). Cette courbure est due au phénomène de fluage lié à l'action de la précontrainte.

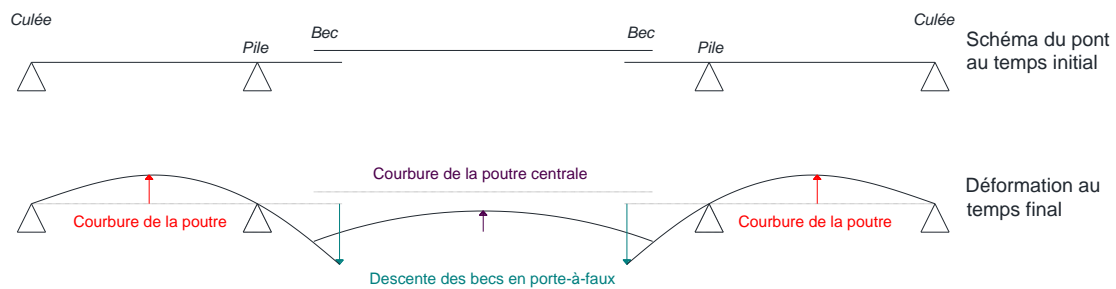


FIGURE 40 : SCHÉMA DE LA CINÉMATIQUE D'UN PONT CANTILEVER

Lorsqu'on analyse le pont 102 sur le canal Nimy-Blaton et qu'on observe l'évolution en fonction du temps du repère 5 situé en travée centrale, on observe qu'il descend de 10-15 mm (voir Figure 40). Or quand on regarde à la Figure 41, l'évolution du repère en fonction de ses appuis, on constate alors qu'il a monté réellement de plus de 35 mm.

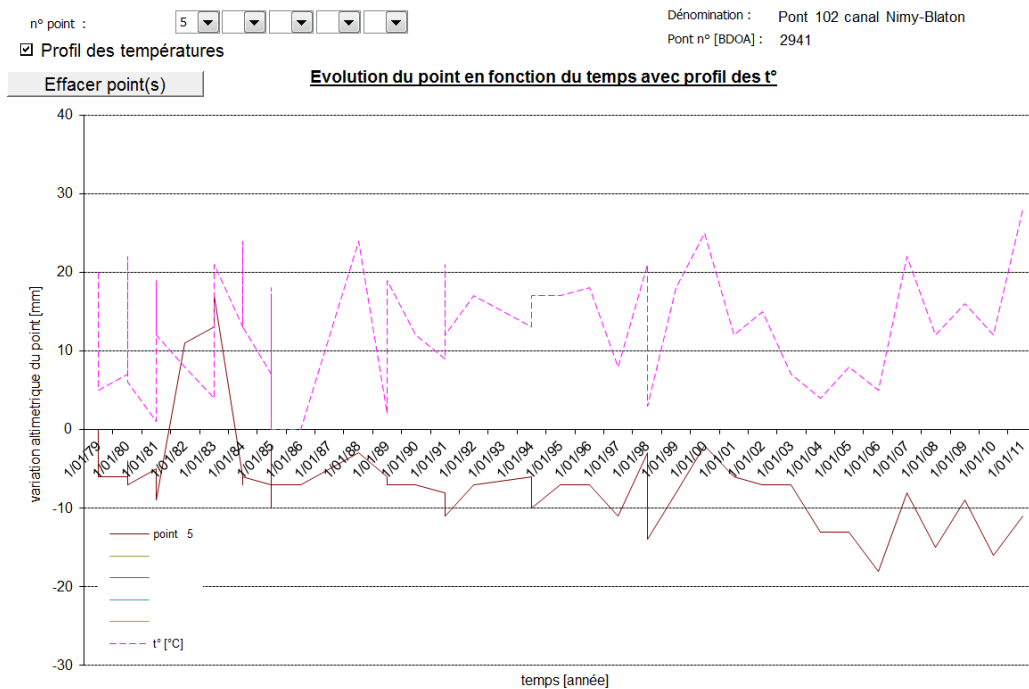


FIGURE 41 : ÉVOLUTION DU POINT N°5 EN FONCTION DU TEMPS

Dénomination : Pont 102 canal Nimv-Blaton
 Pont n° [BDOA] : 2941

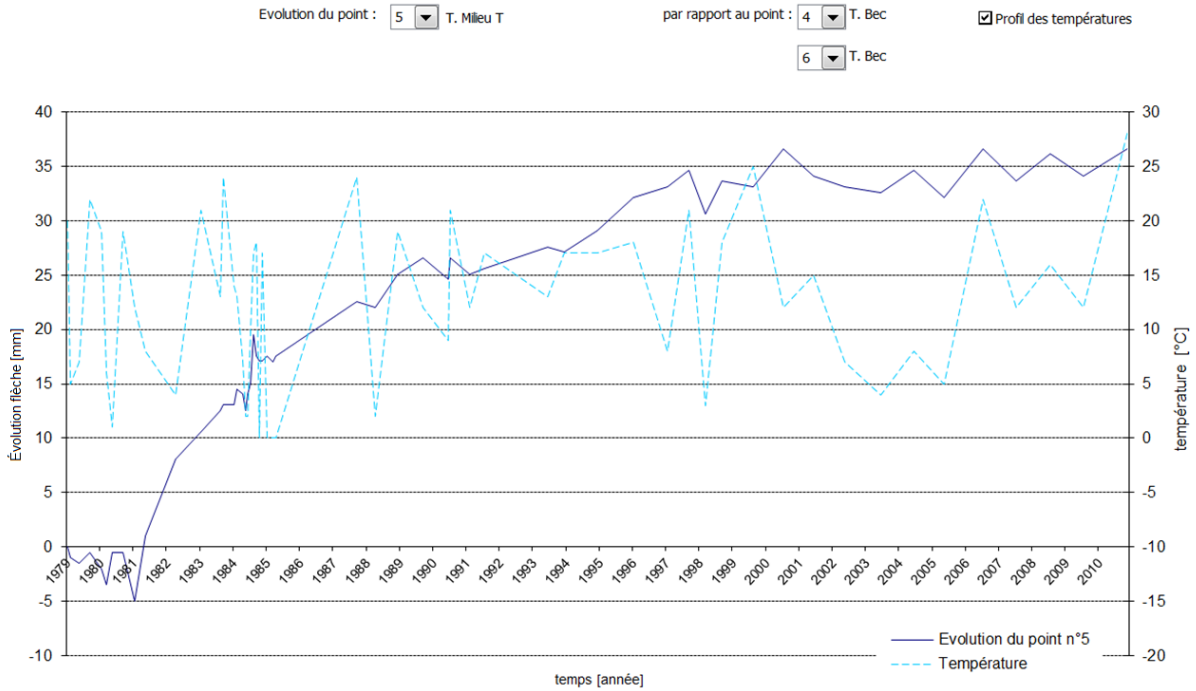


FIGURE 42 : ÉVOLUTION DU POINT N°5 EN FONCTION DU TEMPS ET DE SES APPUIS

Il en est de même pour l'analyse de l'évolution d'un bec. Lorsqu'on regarde la variation du repère situé sur un bec en fonction du temps, on voit l'évolution du bec mais également celle de la pile ou de la culée. Or pour juste étudier le comportement du bec, il faut analyser celui-ci en fonction de ses appuis comme le montre la Figure 43.

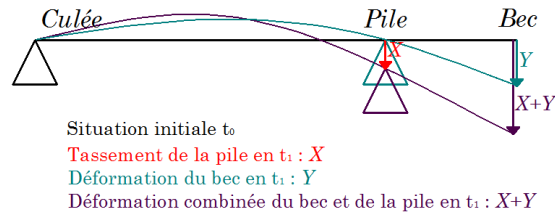


FIGURE 43 : DÉFORMATION DU BEC

Au temps t_0 , rien n'a bougé. Si au temps t_1 on admet que la pile se soit enfoncée de X mm et que le bec se soit déversé de Y mm, le graphe du bec en fonction du temps montrera au temps t_1 une descente de $X+Y$ mm. Or le bec n'est descendu que de Y mm par rapport à la poutre. Le graphe « Évolution du point en fonction de ses appuis » est là pour identifier ce mouvement.

L'équation utilisée pour extraire le mouvement d'un point par rapport à ses appuis se base sur ces équations :

$$\Delta(t_f) = (Z_r(t_f) - Z_2(t_f)) - \left[\frac{(Z_1(t_f) - Z_2(t_f)) \cdot (X_r - X_2)}{X_1 - X_2} \right]$$

$$\Delta(t_0) = (Z_r(t_0) - Z_2(t_0)) - \left[\frac{(Z_1(t_0) - Z_2(t_0)) \cdot (X_r - X_2)}{X_1 - X_2} \right]$$

On fait alors :

$$\Delta_{tot}(t_f) = \Delta(t_f) - \Delta(t_0)$$

Avec,

- $\Delta(t_f)$ Descente du point recherché (bec ou milieu de travée) au temps final, en tenant compte des appuis.
- $\Delta(t_0)$ Descente du point recherché au temps initial.
- $Z_r(t_f)$ Altitude du point recherché au temps final.
- $Z_1(t_f)$ Altitude de l'appui 1 au temps final.
- $Z_2(t_f)$ Altitude de l'appui 2 au temps final.
- X_r Coordonnée X du point recherché.
- X_1 Coordonnée X de l'appui 1.
- X_2 Coordonnée X de l'appui 2.
- $\Delta(t_0)$ Descente du point recherché au temps initial, en tenant compte des appuis.
- $Z_r(t_0)$ Altitude du point recherché au temps initial.
- $Z_1(t_0)$ Altitude de l'appui 1 au temps initial.
- $Z_2(t_0)$ Altitude de l'appui 2 au temps initial.
- $\Delta_{tot}(t_f)$ Variation du point recherché entre le nivellement final et initial.

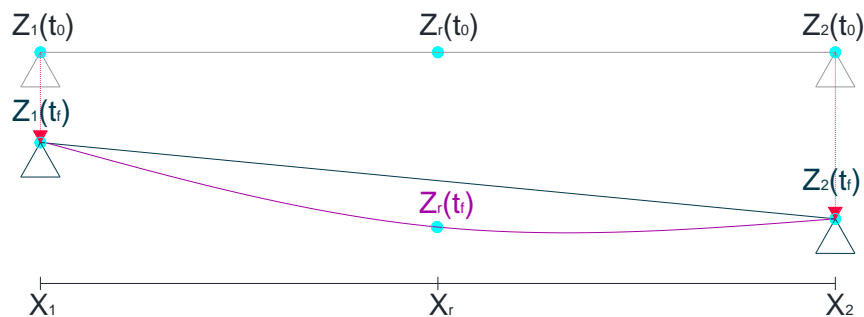


FIGURE 44 : ILLUSTRATION DE LA FORMULE

3.3 APPLICATION POUR LA VÉRIFICATION D'UN PONT CANTILEVER

3.3.1 PROBLÉMATIQUE

Afin de voir l'intérêt du programme réalisé, celui-ci va être appliqué à deux cas réels. L'étude portera entre autre sur un pont cantilever à trois travées en béton précontraint. Il a été construit en 1968 pour permettre le franchissement du nouveau canal reliant Charleroi à Bruxelles. Cet ouvrage a une portée de 111.30 m et prend appui sur deux culées et deux piles distantes de 61.30 m comme le montre le schéma de la Figure 45.

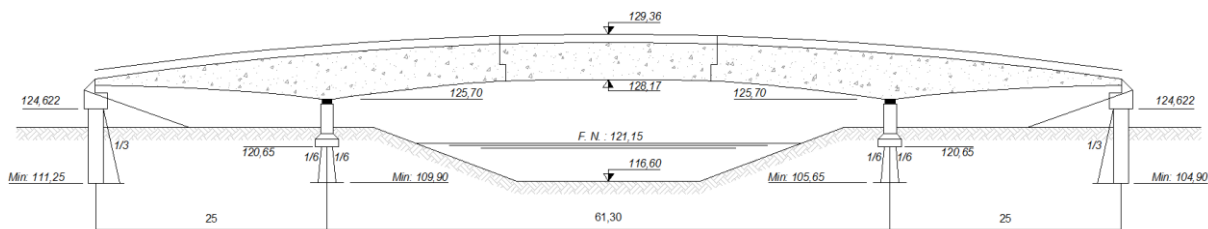


FIGURE 45 : PLAN DU PONT N°1 À SENEFFE

Cet ouvrage a la particularité d'être équipé de barres traversant le tablier au niveau des appuis pour s'ancrer dans la culée. Ces barres permettent la reprise des réactions négatives dans certains cas de charges. Dès lors, elles empêchent le soulèvement et le basculement du tablier vers le canal. Voici une coupe de la culée montrant les ancrages en question.

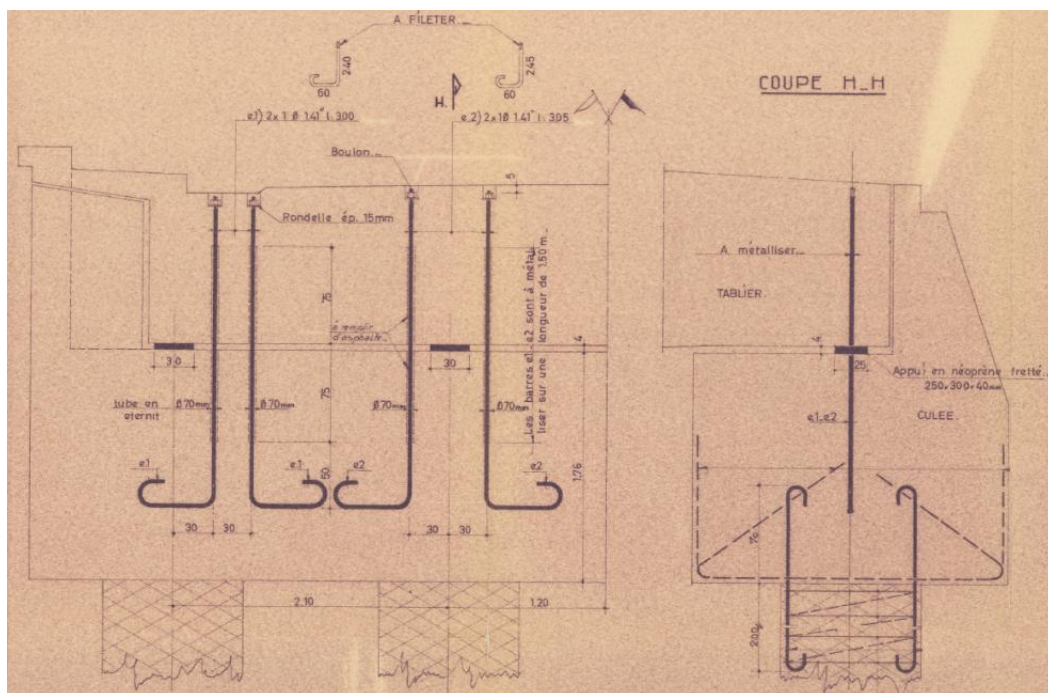


FIGURE 46 : DÉTAIL DES APPAREILS D'APPUIS

Lors d'un bref passage sur l'ouvrage le 4 février 2010, un soulèvement de la culée de plusieurs centimètres (5-6 cm) sur un côté a interpellé le gestionnaire. Celui-ci a directement pris contact avec la Direction de l'Expertise des ouvrages afin qu'une inspection B soit réalisée le plus rapidement possible. Le soulèvement en question provoquait un déchaussement non négligeable du joint côté amont.

Une inspection suivie de son rapport ont été réalisés le 10 février 2010. Ils confirment le mouvement observé. D'une part, des mesures effectuées sur le joint indiquent un mouvement vertical de 3,5 cm entre le tablier et la culée en amont alors qu'aucun mouvement n'est observé en aval. D'autre part, sous la structure, l'espace entre le tablier et le sommier a une hauteur de 6 cm toujours en amont et 3,5 cm en aval. Aucun désordre de cet ordre n'a été observé sur l'autre culée. Les photos ci-dessous illustrent les mouvements étudiés.



FIGURE 48 : MOUVEMENT VERTICAL AU NIVEAU DU JOINT DE 3,5 CM EN AMONT



FIGURE 47 : PAS DE MOUVEMENT OBSERVÉ EN AVAL AU NIVEAU DU JOINT



FIGURE 49 : MOUVEMENT VERTICAL ENTRE LE SOMMIER ET LE TABLIER

Par après, une endoscopie a pu confirmer l'hypothèse des barres d'ancrage sectionnées (voir Figure 50).



FIGURE 50 : BARRE SECTIONNÉE

Au vu du caractère spécifique de l'ouvrage, avec les ancrages de reprises des efforts négatifs, et que ces barres sont sectionnées, l'ouvrage a été fermé à la circulation le jour de l'inspection.

Suite à toutes ces détériorations observées et à la nécessité d'une intervention rapide, des travaux de réfection ont été réalisés dans le courant du mois de mai 2010. Le joint de dilatation a été remplacé et de nouveaux encrages ont été installés comme le montre la figure suivante.

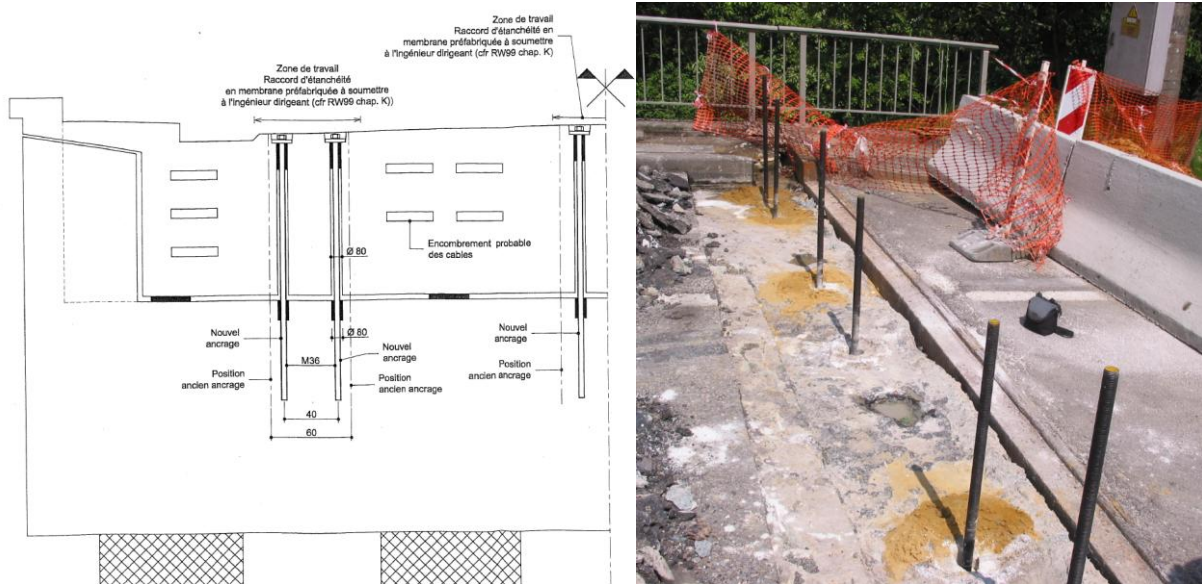


FIGURE 51 : SCHÉMA ET PHOTO DES NOUVEAUX ANCRAGES

Un nivellement de l'ensemble des repères a été réalisé le 3 mars 2010. Un autre nivellement plus complet à l'aide d'une station totale et d'un niveau a été effectué à la fin du mois de mars. Ce dernier nivellement portait que sur la partie du tablier et la culée posant problème voir ci-dessous.

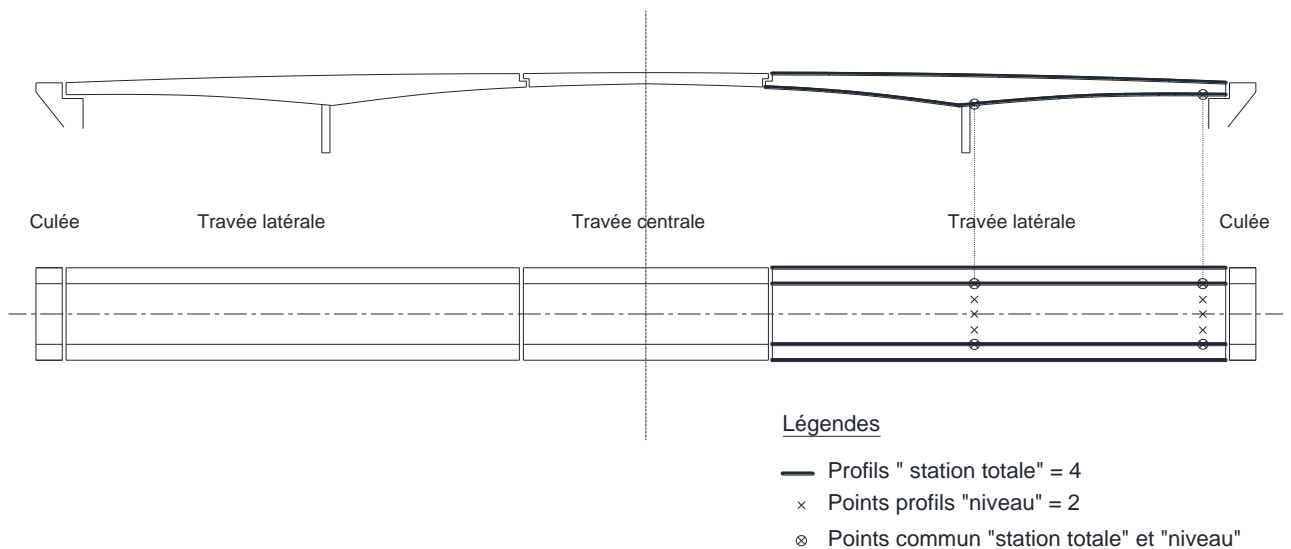


FIGURE 52 : VISUALISATION DES POINTS RELEVÉS

Une analyse des données a été faite et on a alors réalisé que la cause de ce soulèvement provenait d'un tassement différentiel de la pile située du côté des mouvements.

Après lecture du rapport d'essais de sol, effectué avant la réalisation de l'ouvrage, voici ce qui en est sorti :

- Pour l'essai de pénétration effectué au niveau de la pile tassée de la cote +99 à +96,50 (sachant que la cote du terrain naturel est à +122,25) :

« Résistance à la pointe pratiquement nulle, d'ailleurs lors de l'essai, le cône est descendu sous le seul poids des tiges. Nous nous trouvons sans doute dans une cavité ou fissures de la roche éventuellement remplies de matériaux meubles peu compacts. »

- Conclusion de l'essai de pénétration :
« Les différences d'une rive à l'autre nous semblent frappantes pour la distance qui les sépare. »

- Les conclusions du rapport sont :
« Les principaux renseignements que nous pouvons retirer de ces résultats sont les suivants. Nous constatons d'abord que le sommet de la roche saine et compacte ne peut en aucun endroit être situé avec certitude. Le forage 645 et l'essai I laissent prévoir que le sommet de la roche n'est probablement plus très loin sous leur profondeur maximum atteinte. [...] Il en résulte donc qu'avec des fondations établies dans la couche de limon, il faudra s'attendre à certains tassements, lesquels nécessiteront en outre un temps relativement long avant d'atteindre leur valeur finale [...] les différences de tassement qui peuvent se produire entre les différents points d'appuis [...] ce sera quand même un des facteurs les plus défavorable à écarter lors du choix des fondations en égard à la grande dissemblance entre les terrains rencontrés sur les deux rives. »

Un tassement différentiel peut dès lors être la source de tous les problèmes rencontrés sur l'ouvrage. L'utilisation du programme montrera que ce tassement aurait pu être détecté dès le second nivellement réalisé le 19 septembre 1997.

3.3.2 UTILISATION DU PROGRAMME

L'ensemble des données inscrites dans le tableau de nivellement (voir Annexe D) a été encodé dans le programme Excel. Ce programme permettra de visualiser le comportement du pont avec les trois nivellements réalisés.

Un plan schématique du pont reprend l'emplacement des repères (Figure 53).

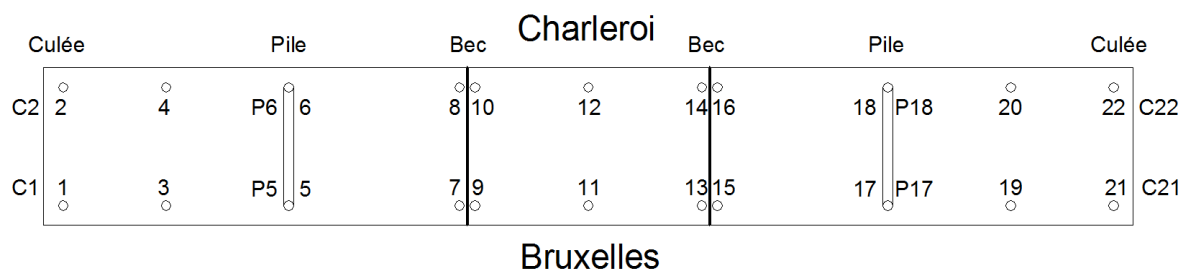


FIGURE 53 : PLAN DU PONT 569

Voici ce qu'on aperçoit lorsqu'on analyse les données :

- Sur la feuille « Données ouvrage », on voit la fenêtre suivante :

Informations générales

N° identification : 2.300.039.1
N° d'ordre (BDOA) : 569
Dénomination : PONT ROUTE DE SENEFFE
Dernier nivellement : 3/03/2010
Périodicité : 1 an(s)
Prochain nivellement : 3/03/2011
Type de structure : pont cantilever
Moyens d'accès / équipements particuliers:

REMARQUES GÉNÉRALES :		
Date :	Remarques :	
3/03/2010	Attention P 5 est descendu de 10 mm	
3/03/2010	Attention le point 10 est descendu de 20 mm	
REMARQUES NIVELLEMENT :		
Date :	Remarques :	
REMARQUES REPÈRE :		
Numéro repère :	Remarques :	
REMARQUES REPÈRE PARTICULIER :		
Date :	N° repère:	Remarques :
3/03/2010	p18	Repère plié vers le bas.

FIGURE 54 : FEUILLE "DONNÉES OUVRAGE" DU PONT N°1 À SENEFFE

Sur cette fenêtre (Figure 54, p. 51), les données relatives au pont étudié sont visibles et peuvent être importées de la BDOA via une requête SQL¹⁰ non opérationnelle pour le moment. L'ensemble des commentaires encodés sur la feuille « Données nivellement » et introduits sur cette feuille peut être lu dans des tableaux prévus à cet effet.

On voit rapidement que le repère 18 situé sur une pile a été plié et doit être réparé. De plus, la personne ayant analysé les données a fait remarquer que certains points se sont fortement tassés.

- Sur la feuille « Données nivellement », on observe ceci :

Données relatives au nivellement

Dénomination : PONT ROUTE DE SENEFFE
 Pont n°[BDOA] 569
 unité nivel.: m
 date initiale : 3/09/80
 date finale : 3/03/10
 limite écart : 10 mm

Imprimer Déplacer repère

Type de nivellement :		Initial	Périodique	Périodique	Périodique	NOUVEAU NIVELLEMENT		
Direction :								
Nom opérateur :								
Type de repère	date:	30980	190997	30310				
	heure:							
	T° [°C] :	20 °C	20 °C	4 °C				
	temps:	*		**				
	Erreur de fermeture [mm] :							
Tableau synthétique		n° repère	X	Y	Z	Z	Z	Z
Z _{initiale}	Z _{finale}							
1.000		réf.	21		1			
1.769		réf.	22		1.769			
6.636	6.636	T. Culée	1	0.000	0.000	6.636	6.636	6.636
6.645	6.660	T. Culée	2	0.000	9.000	6.645	6.65	6.66
7.211	7.203	T. Milieu T	3	12.500	0.000	7.211	7.208	7.203
7.221	7.229	T. Milieu T	4	12.500	9.000	7.221	7.226	7.229
7.650	7.634	T. Pile	5	25.000	0.000	7.65	7.642	7.634
7.680	7.681	T. Pile	6	25.000	9.000	7.68	7.682	7.681
8.085	8.069	T. Bec	7	29.400	0.000	8.085	8.066	8.069
8.109	8.102	T. Bec	8	29.400	9.000	8.109	8.106	8.102
8.083	8.061	T. Bec	9	29.700	0.000	8.083	8.063	8.061
8.119	8.099	T. Bec	10	29.700	9.000	8.119	8.107	8.099
8.192	8.177	T. Milieu T	11	55.650	0.000	8.192	8.183	8.177
8.182	8.176	T. Milieu T	12	55.650	9.000	8.182	8.176	8.176
8.101	8.093	T. Bec	13	81.600	0.000	8.101	8.095	8.093
8.101	8.092	T. Bec	14	81.600	9.000	8.101	8.094	8.092
8.116	8.108	T. Bec	15	81.900	0.000	8.116	8.11	8.108
8.128	8.118	T. Bec	16	81.900	9.000	8.128	8.121	8.118
7.684	7.681	T. Pile	17	86.300	0.000	7.684	7.685	7.681
7.676	7.676	T. Pile	18	86.300	9.000	7.676	7.678	7.676
7.182	7.180	T. Milieu T	19	98.800	0.000	7.182	7.183	7.18
7.198	7.199	T. Milieu T	20	98.800	9.000	7.198	7.2	7.199
6.596	6.593	T. Culée	21	111.300	0.000	6.596	6.595	6.593
6.616	6.616	T. Culée	22	111.300	9.000	6.616	6.615	6.616
1.290	1.280	Pile	P5	25.000	0.000	1.29	1.283	1.28
1.364	1.363	Pile	P6	25.000	9.000	1.364	1.365	1.363
1.368	1.368	Pile	P17	86.300	0.000	1.368	1.369	1.368
1.412		Pile	p18	86.300	9.000	1.412	1.364	
6.278	6.277	Culée	c1	0.000	0.000	6.278	6.279	6.277
6.241	6.242	Culée	c2	0.000	9.000	6.241	6.243	6.242
6.256	6.251	Culée	c21	111.300	0.000	6.256	6.253	6.251
6.273	6.272	Culée	c22	111.300	9.000	6.273	6.271	6.272
NOUVEAU REPÈRE								

Repère plié vers le bas

FIGURE 55 : "DONNÉES OUVRAGE" POUR LE PONT N°1 À SENEFFE

¹⁰ SQL (Structured Query Language) est un langage de définition de données (LDD), un langage de manipulation de données (LMD), et un langage de contrôle de données (LCD), pour les bases de données relationnelles.

En comparant les altitudes Z de l'ensemble des points entre le 3 septembre 1980 et le 3 mars 2010 et en plaçant la limite d'écart à 10 mm, on observe que de nombreux points ont énormément bougé. Les points 9 et 10 se sont fortement tassés (respectivement 22 & 20 mm). Parallèlement à ce tassement, le point 2 s'est soulevé de 15 mm.

Si on prend comme date finale le 19 septembre 1997, voici ce qu'on obtient;

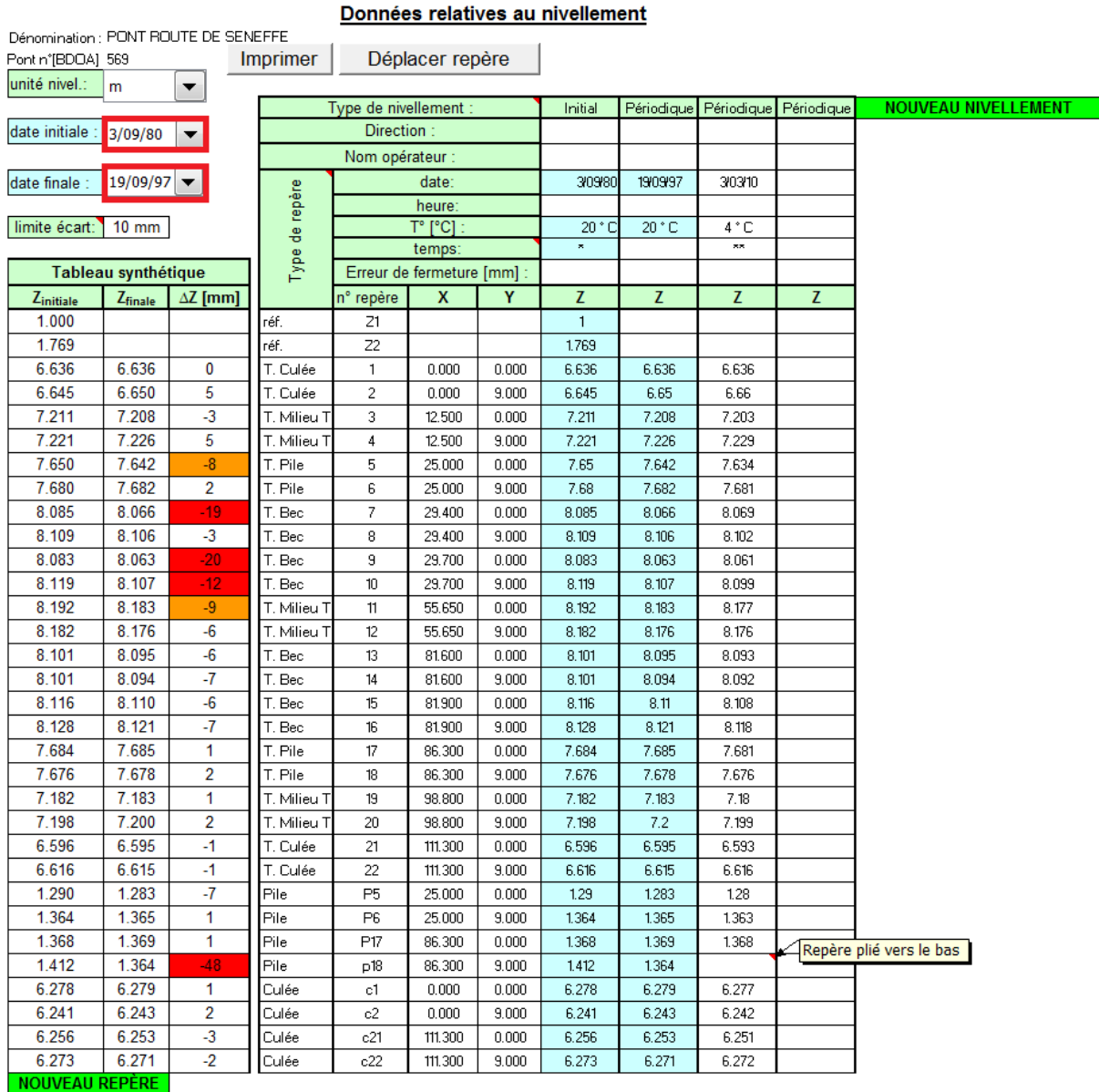


FIGURE 56 : "DONNÉES NIVELLEMENT" COMPARAISON ENTRE 1980 ET 1997

Le point n°2 est monté de 5 mm et les points 9 et 10 sont descendus de 20 et 12 mm. Le point p18 est descendu de 48 mm voir remarque Figure 56 p. 53. On suppose qu'il aurait déjà été plié en 1997 mais aucune remarque n'a été faite.

Cette page ne permet pas la visualisation des repères sur le tablier. Elle alerte juste la personne qui analyse le nivellement qu'un mouvement trop important est apparu sur le pont.

- Sur la feuille « Évolution point », si on observe seulement les repères situés aux piles, on voit que le seul repère valide de la pile situé en aval n'a pas subi de mouvement critique. On ne peut se référer au repère n°p18 au vu de son état. Par contre le repère n°p5 s'est fortement tassé et n'est jamais en position initiale. Le repère n°p6 s'est légèrement tassé (voir Figure 57 p. 54).

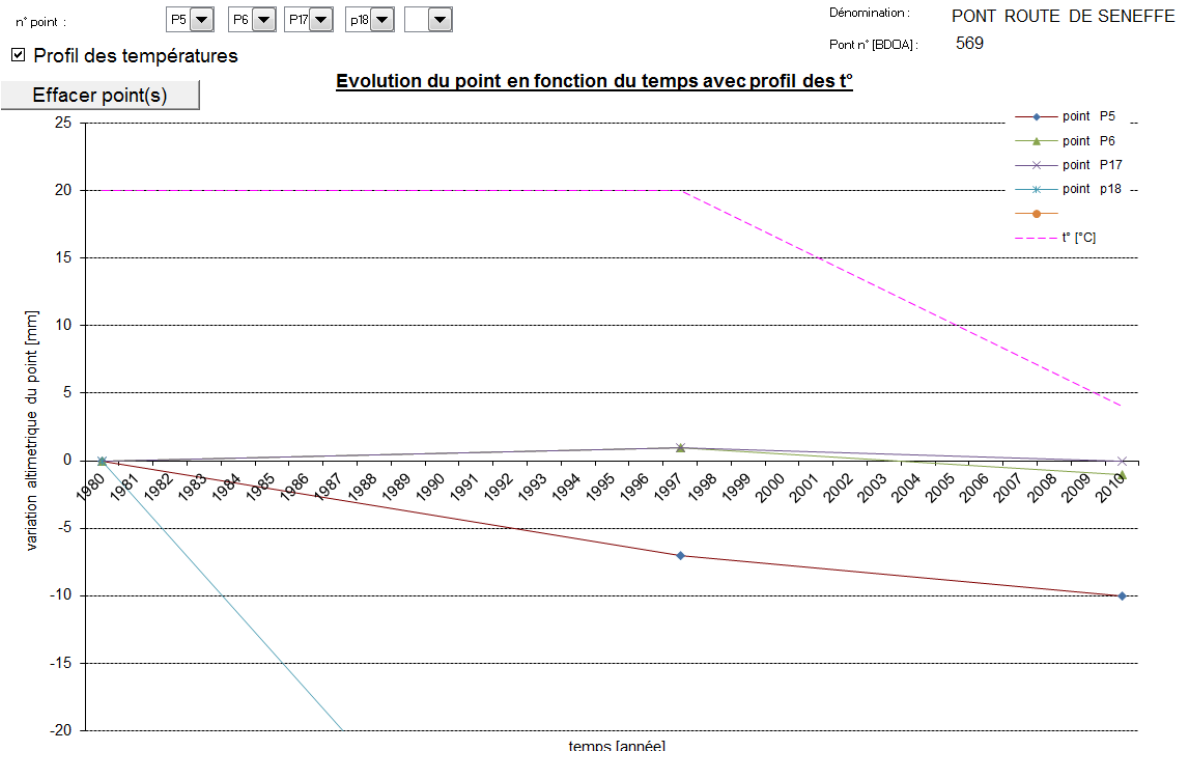


FIGURE 57 : "ÉVOLUTION POINT" DES PILES

Si l'on encode les repères n°1 et 2 présent sur la superstructure avec ceux de la culée n°c1 et c2 situé sur l'infrastructure, on observe alors leur évolution respective. Ceci permet d'en déduire que la culée 2 est restée sur place et que le tablier est monté au niveau du repère n°2. Par contre, du côté des repères n°1 et c1, rien de très alarmant ne s'est produit. Voici les courbes obtenues :

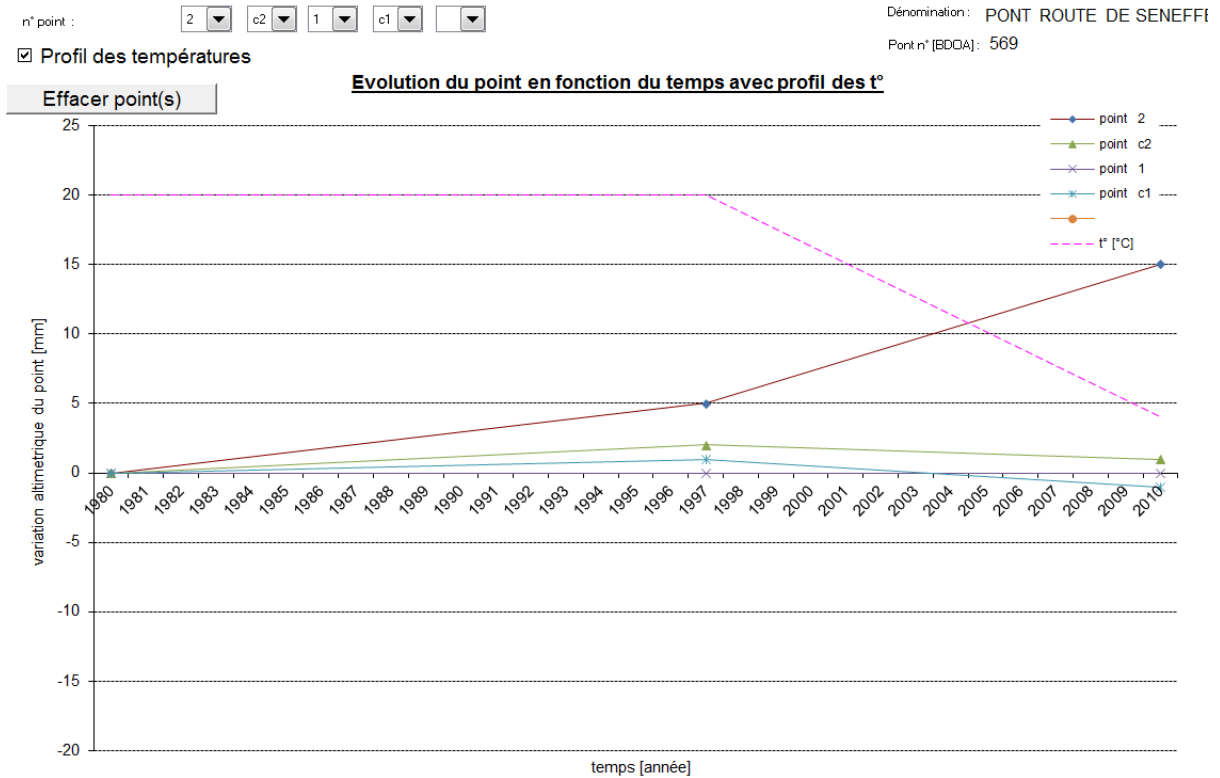


FIGURE 58 : "ÉVOLUTION POINT" N°1, C1 & 2, C2

- Pour le graphe « Delta Z », après avoir encodé l'ensemble des repères du tablier, 3 combinaisons sont possibles vu que l'on a 3 dates.

On encode les dates de début et de fin, selon les combinaisons suivantes :

- 1. Début : 1980, fin : 1997.
- 2. Début : 1980, fin : 2010.
- 3. Début : 1997, fin : 2010.

Les combinaisons 1 et 2 semblent les plus pertinentes. Voici ce qu'elles dévoilent :

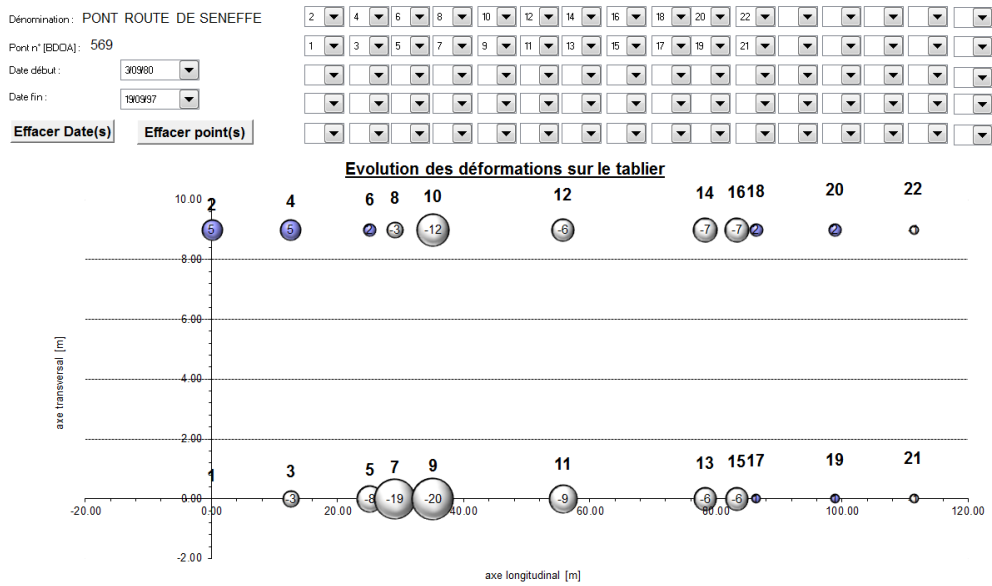


FIGURE 59 : "DELTA Z" ENTRE LES ANNÉES 1980 ET 1997

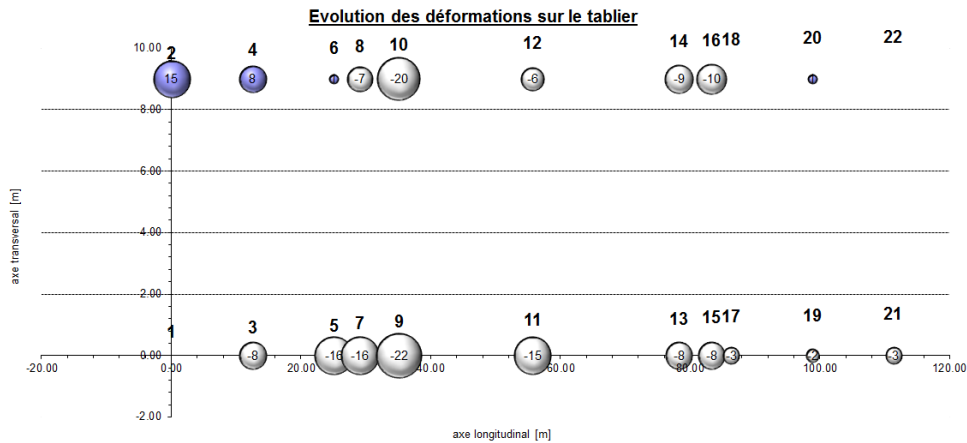


FIGURE 60 : "DELTA Z" ENTRE LES ANNÉES 1980 ET 2010

Ces deux graphes nous montrent une vue en plan du tablier. Les points les plus alarmants sont les points 2, 5, 9 et 10 tous situés du côté de la culée problématique. Le point 2 se situe au niveau du joint ayant tiré la sonnette d'alarme. Il s'est soulevé constamment depuis 1980 et a atteint un accroissement total de 15 mm.

Les points 9 et 10 sont situés au niveau du bec côté poutre centrale. Ils sont tous les deux fortement descendus. Il faudra par conséquent surveiller ces deux becs. Le repère 5 se situe au-dessus de la pile. On voit qu'il est descendu d'avantage par rapport à tous les points situés sur les piles (6, 17 et 18) et ce déjà en 1997. Une alerte aurait donc déjà pu être donnée sur ces points inquiétants.

- Pour le graphe suivant « Profil longitudinal », l'ensemble des repères du tablier sont également encodés. Étant donné qu'il n'y a que trois nivellements et deux profils longitudinaux, on aura deux graphes possibles. Le premier reprenant l'évolution du premier profil durant les trois années. Le second donnant l'évolution du profil n°2 également sur ces trois années.

Voici les graphes :

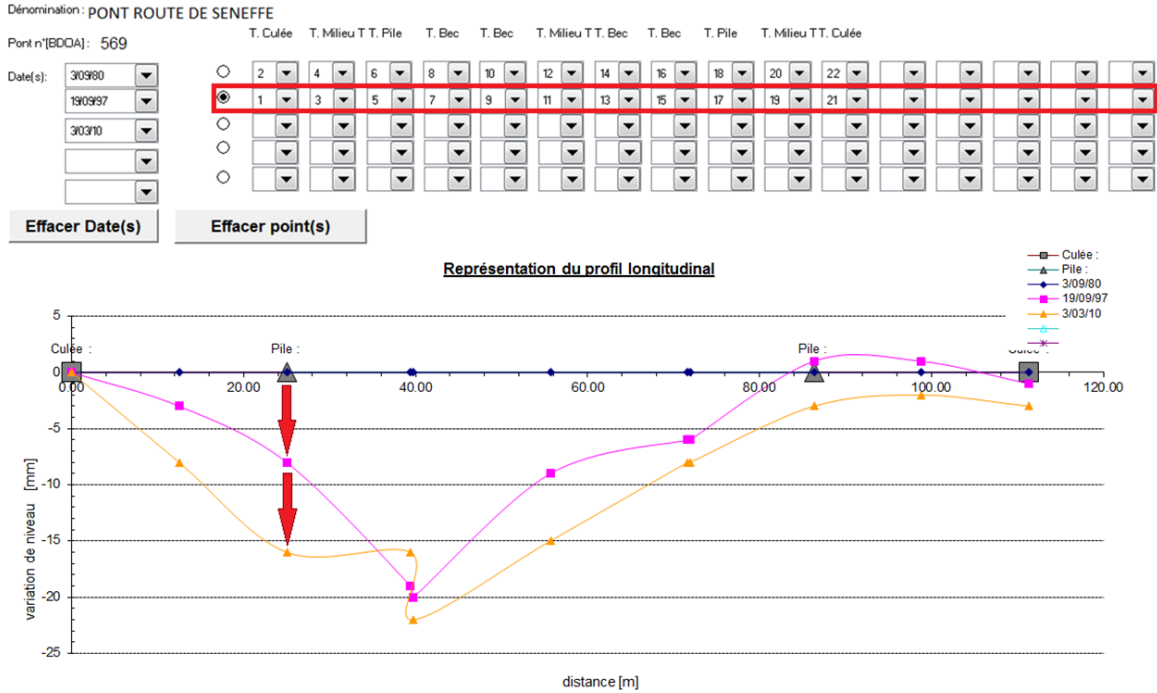


FIGURE 61 : "PROFIL LONGITUDINAL" N°1

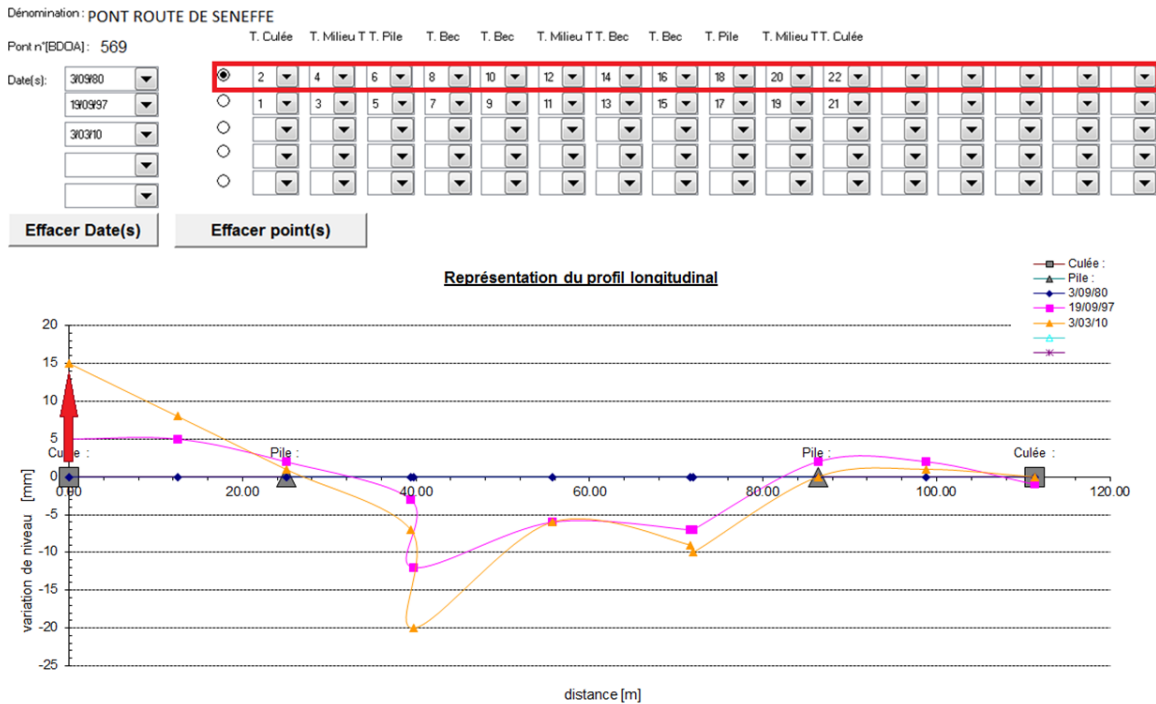


FIGURE 62 : "PROFIL LONGITUDINAL" N°2

Le premier profil nous montre que la pile sous le repère n°5 n'a cessé de se tasser. Il serait intéressant de réaliser une instrumentation sur celle-ci afin d'observer une quelconque évolution. Le second profil révèle que le point n°2 au niveau de la culée est monté de 15 mm, entraînant une descente du point 8 et 10. Le reste du profil n'a pas de problème apparent.

- Pour terminer, le dernier graphe « Point en fonction des appuis » est utile pour étudier les becs et les milieux de travées. Sur ce pont, l'évolution du repère n°7 situé sur un bec est observée afin de voir si la poutre ne s'est pas trop courbée en ce point. En effet, ce point est descendu de 19 mm en 1997 et 16 mm en 2010, mais la pile soutenant sa poutre s'est affaissée de 16 mm en 2010. Si on regarde le graphe ci-dessous, on constate que le repère n°7 est descendu puis est remonté. Cela serait peut-être dû à la température. Une différence de 15 °C et un décalage de 6 mois entre les deux derniers nivellements peuvent expliquer ce mouvement insolite. Mais un autre nivellement pourra nous confirmer le mouvement que subit ce point par rapport à ses appuis.

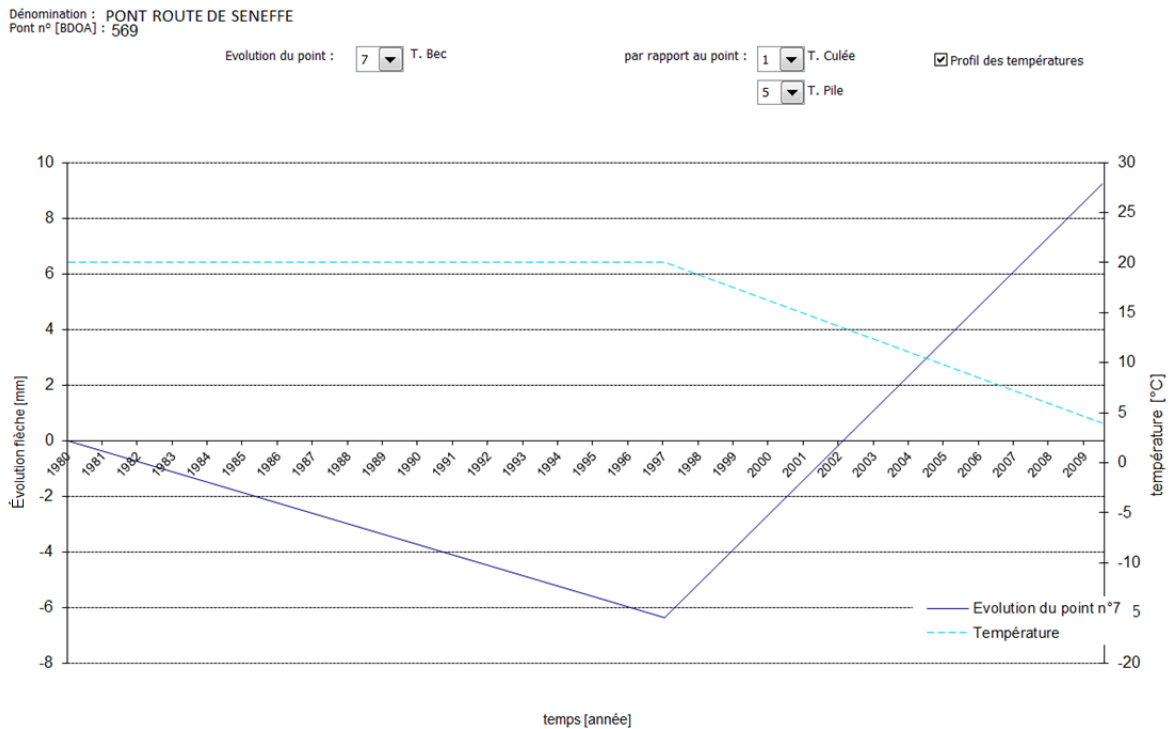


FIGURE 63 : "POINT EN FONCTION DES APPUIS" ÉVOLUTION DU REPÈRE N°7

3.3.3 CONCLUSION

Cet exemple a pu prouver que ce programme permet de détecter rapidement les mouvements anormaux apparus sur un ouvrage. En appliquant les données du pont n°1 à Seneffe sur le programme, les problèmes qu'il a subi auraient pu être présagés dès le second nivellement en 1997. Le tassement de la pile ainsi qu'un léger soulèvement du tablier y sont déjà visibles.

Il montre également que le mouvement n'a fait que s'accroître et qu'il pourrait, à l'heure actuelle s'amplifier encore. Une instrumentation permettra de surveiller précisément les mouvements de la pile et vérifier si celle-ci continue à s'affaïsser ou si elle est stabilisée.

En conclusion, ce programme illustre rapidement les déplacements évolutifs du pont. De plus, un grand nombre de graphes différents permettent de visualiser l'ensemble de l'ouvrage sous toutes ses coutures. Ils confirment ou non les mouvements.

3.4 APPLICATION POUR LA VÉRIFICATION D'UN PONT HAUBANÉ

3.4.1 PROBLÉMATIQUE

Un pont haubané est un ouvrage d'art permettant de répondre à des aménagements du territoire nécessitant une portée largement supérieure à 100 m.

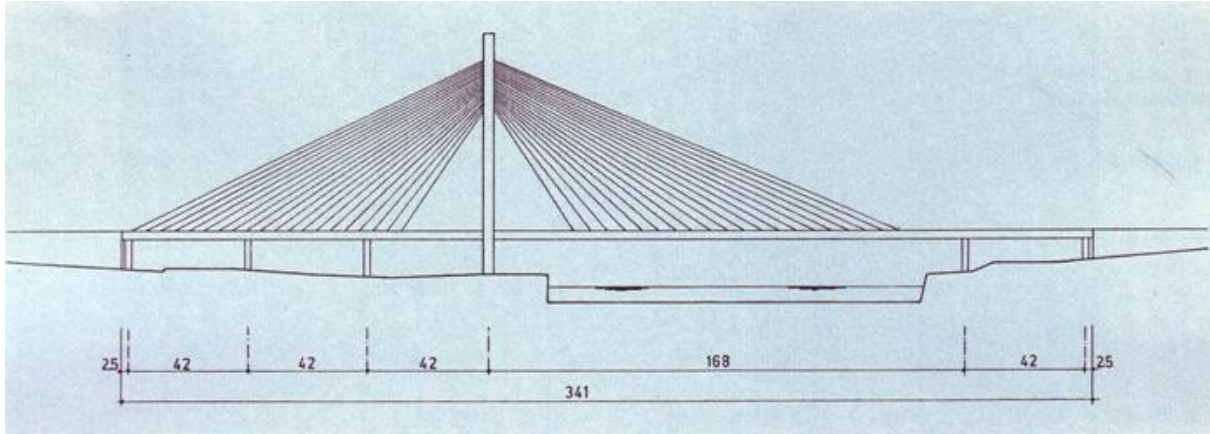


FIGURE 64 : PLAN DU PONT PÈRE PIRE

Le Pont Père Pire, situé, à Ben-Ahin, est un pont à haubans mis en service le 23 février 1988. Il est constitué d'une nappe centrale de 40 haubans (2 x 20 haubans) placés de part et d'autre d'un pylône en Y renversé non centré par rapport aux culées.

Par sa longueur, 341 m, il permet le franchissement de la Meuse, d'une route ordinaire, de voies ferrées ainsi que d'une route communale. Sa largeur est de 21,5 m.

Pour un pont de ce type, la connaissance des efforts dans les haubans est importante. Tant durant sa construction que pendant la vie de l'ouvrage.

Connaitre la valeur des efforts dans chaque câble pendant sa construction est essentiel afin confirmer la bonne répartition des efforts dans la structure. Cela permet également de réaliser les réglages finaux nécessaires pour obtenir le profil en long souhaité.

Pendant la durée de vie de l'ouvrage, après mesure des efforts, le calcul de leur variation sera utilisé. La vérification de ces variations d'efforts permettra de contrôler son bon fonctionnement mais aussi de mettre à vue rapidement l'existence de désordre.

Ces variations peuvent :

- être normales (effet thermique, fluage,...)
- montrer des dégradations de l'élément ausculté (corrosion, rupture,...)
- prévenir des tassements

L'utilisation du programme a permis de comparer le pourcentage de variation d'effort dans les haubans entre 1988 et 2011 avec la déformée qu'a pris le tablier entre ces années-là également. La comparaison s'est faite dans le but de comprendre la variation d'effort dans les câbles.

3.4.2 UTILISATION DU PROGRAMME

Les données reçues pour cet ouvrage sont reprises dans l'Annexe D. On y retrouve les mesures d'effort dans les haubans datant du 20-04-1988 et du 02-03-2011 (voir Annexe D Document 1). Les données des nivellements du 01-03-1988 et du 01-03-2012 figurent sous forme de tableau dans l'Annexe D Document 2.

Dans un premier temps, les données de nivellements ont été encodées normalement dans le programme. Ensuite, les données relatives aux efforts dans les haubans ont été entrées en dessous des données du nivellement. Étant donné que les nivellements et les mesures d'efforts ont été réalisés à des dates proches, les dates de mesures d'efforts ont été assimilées respectivement aux dates de nivellement.

Malheureusement aucune notion de température n'a été renseignée sur les fiches de mesures d'efforts et de nivellements. Il faudra dès lors rester vigilant sur les conclusions tirées.

Pour répondre au mieux à la problématique posée, les graphes « Delta z » et « Profil longitudinal » ont subi quelques modifications. Pour s'adapter au cas de cet ouvrage, des listes de choix ont été ajoutées pour encoder les nombreux repères présents sur le profil longitudinal du tablier. Seize listes déroulantes étaient prévues de base et deux ont été ajoutées pour chaque profil longitudinal. Et ce, aussi bien pour le graphe « Delta z » que pour le graphe « Profil longitudinal ».

Pour visualiser rapidement la position des haubans par rapport aux repères de nivellement, une sélection de données a été ajoutée au graphe « Delta z ».

Cette sélection de données reprend :

- les numéros des haubans comme taille des bulles de la série ;
- les coordonnées X pour la valeur de la série des abscisses X ;
- les coordonnées Y pour la valeur de la série des ordonnées Y.

Pour ne pas encombrer d'avantage le graphe, de simples rectangles rouges représentent les haubans. Les numéros de ceux-ci ne sont pas repris. Enfin, les données « Wanze » et « Huy » ont été inscrites pour mieux se situer. Voici le graphe « Delta z » :

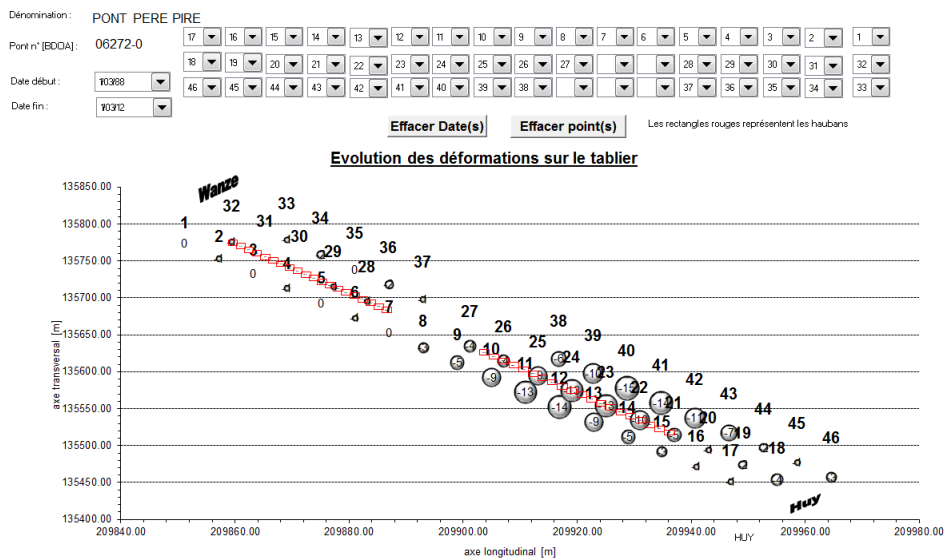


FIGURE 65 : VISUALISATION DU GRAPHE AMÉLIORÉ "DELTA Z" DANS LE CAS DU PONT PÈRE PIRE

Pour le graphe « Profil longitudinal », les repères situés sur le tablier ont été encodés dans les listes déroulantes existantes et dans celles ajoutés en supplément. Pour visualiser le plus correctement possible l'évolution entre l'effort dans les haubans et le déplacement du tablier, un graphe supplémentaire a été ajouté sur la feuille « Profil longitudinal ».

L'ajout d'un tableau de calcul a été fait dans la feuille liée au graphe « Profil longitudinal ». Ce tableau permet de calculer la différence d'effort dans les haubans entre les années 1988 et 2011.

Ce sont ces nouvelles données calculées qui seront utilisées dans le graphe ajouté. Le graphique est ajusté par rapport au graphique du profil longitudinal pour pouvoir les comparer.

Le pylône a été indiqué pour mieux visualiser l'ouvrage. Les appuis y sont également dessinés. Voici la fenêtre obtenue après toutes ces modifications :

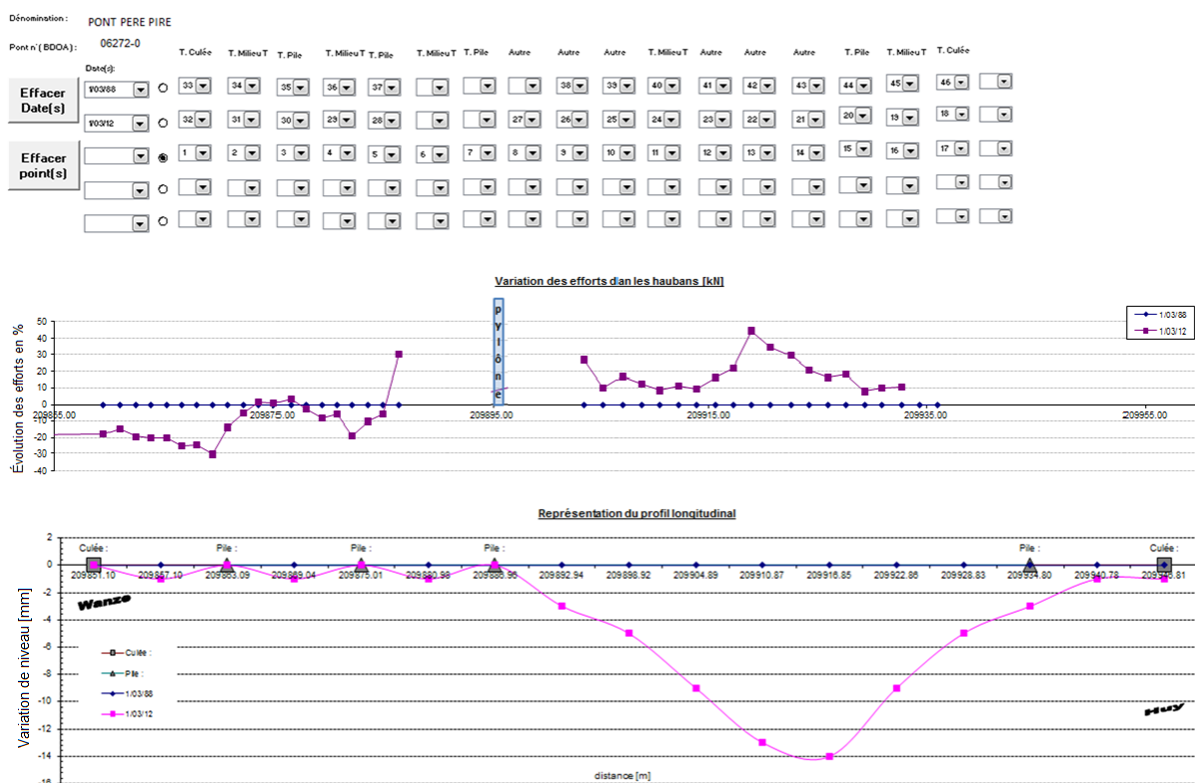


FIGURE 66 : COMPARAISON ENTRE LES EFFORTS DANS LES HAUBANS ET LES DÉPLACEMENTS DU TABLIER

Vu le faible nombre de nivellements et de mesures d'efforts réalisées depuis la mise en circulation de l'ouvrage (2 mesures), les autres graphes du programme n'ont pas été changés ni utilisés. De plus, la problématique posée ne s'y prêtait pas.

3.4.3 CONCLUSION

Le graphe représenté à la Figure 66 p. 62 a été annexé au rapport envoyé à un bureau d'étude renommé pour une analyse plus approfondie. Il a pu être utilisé pour visualiser le lien qu'il y a entre la variation des efforts dans les haubans et la déformation subie par le tablier.

Sur ce graphe, on voit qu'une majorité des câbles situés à gauche du pylône ont subi une perte d'effort tandis que, du côté de Huy, tous les câbles ont vu leur effort augmenté. Au vu des résultats, une hypothèse est émise sur le fléchissement du pylône vers Wanze.

Cet exemple illustre la capacité de ce programme à être multifonctionnel. Il peut être utilisé pour d'autres applications moyennant de simples modifications. Une connaissance suffisante de l'outil Excel permet d'accomplir ces changements.

4 LE NIVELLEMENT DANS LA BDOA

4.1 QU'EST-CE QUE LA BDOA ?

La Banque de Données des Ouvrages d'Art est une application propre au Service Public de Wallonie, elle permet de centraliser toutes les informations relatives aux ouvrages d'art gérés par la Région Wallonne.

Cet outil informatique est composé d'une base de données consultée par le biais d'une application web développée en langage Java. Cet outil reprend les données des ouvrages d'art situés en Wallonie gérés par le SPW.

La gestion de cette application est sous l'autorité de la Direction des Conceptions et des Calculs. C'est grâce à cet outil qu'elle gère l'ensemble des données relatives aux ouvrages d'art.

Cette application donne accès à une base de données de type « Oracle », qui est un SGBD¹¹. Toutes les données reprises dans celle-ci sont reliées à un ouvrage. La première démarche à faire quand on est dans la BDOA est de désigner un ouvrage, ce qui donne ensuite accès à l'ensemble des documents relatifs à cet ouvrage.

Les données relatives à l'ouvrage sont classées dans 18 concepts¹² dont voici la liste :

- | | | |
|------------------|-----------------|-----------------|
| - Identification | - Gabarits | - Inspections A |
| - Construction | - Portance | - Inspections B |
| - Géométrie | - Autorisations | - État |
| - Équipements | - Documents | - Réparations |
| - Gestion | - Nivellements | - Interventions |
| - Canevas | - Essais | - Cartographie |

Ils permettent d'encoder et de classifier un maximum de données relatives à l'ouvrage.

À côté de cette gestion des données, un outil permet de planifier les inspections A et B à réaliser. Il permet également de voir où en sont les différentes Directions dans leurs propres inspections.

¹¹ **SGDD** : Système de gestion de bases de données.

¹² **Concepts** : terme utilisé pour définir les onglets disponibles dans la BDOA.

4.2 LE NIVELLEMENT DANS LA BDOA

4.2.1 FICHE D'AVANT-PROJET

Une Fiche d'Avant-Projet est un lien entre l'auteur d'un projet et son réalisateur. Cette fiche, réalisée sous forme de rapport, décrit l'ensemble des développements à appliquer dans un projet. Dans ce cas-ci, nous parlons de développements informatiques à exécuter dans la BDOA. À l'heure actuelle, il n'existe pas encore de formule préétablie pour rédiger ce type de rapport.

Une FAP est réalisée pour chaque nouveauté créée dans la BDOA. Dans ce cadre, l'auteur est une personne du SPW, plus spécifiquement du Département des Expertises techniques, et le réalisateur est un informaticien d'une société informatique. Pour que l'information passe au mieux entre ces deux personnes et qu'elle ne soit pas mal interprétée, une FAP se veut la plus descriptive possible.

Dans le cadre de l'amélioration du concept « Nivellements » de la BDOA, voici la Fiche d'Avant-Projet réalisée par mes soins. Cette FAP explique la méthode d'intégration du fichier Excel dans le concept « Nivellements ». De plus, elle décrit une méthodologie pour analyser les nivellements. Cette méthodologie développe le rôle de chaque intervenant et définit le moment où ils doivent agir.

4.2.2 FAP « NIVELLEMENT DANS LA BDOA »

La fiche d'avant-projet est présentée à partir de la page suivante et jusqu'à la page 100.

L'ensemble des Annexes utilisées dans cette FAP est situé entre les pages 84 et 100.

4.3 AMÉLIORATIONS FUTURES

Dans un premier temps, le programme a été réalisé sur Excel pour de multiples raisons. D'une part, Excel permet une évolutivité des graphiques et du nombre de feuilles. En outre, le programme est facilement adaptable à des cas particuliers (voir 3.4 p. 60) et peut alors évoluer sans souci.

De plus, Excel est un logiciel à la portée de tous. Il n'est pas utile de recourir à un prestataire informatique pour réaliser l'outil. Qui dit pas de prestataire, dit pas de coût de développement, d'où un gain d'argent non négligeable.

Par ailleurs, ce programme ne nécessite pas d'installation particulière mis à part Microsoft Excel. En conséquence, il est utilisable par toutes les personnes intervenant dans le nivellement.

Malheureusement, la procédure d'intégration du programme dans la BDOA est pesante. Pour éviter ce travail d'enregistrement, de modification et de chargement du document Excel, il serait nécessaire d'intégrer directement ce programme en langage Java dans la BDOA.

Néanmoins avant cette intégration, il est essentiel de faire « vieillir » ce programme pour qu'après divers évolution il atteigne une stabilité. On l'utilisera en tant que prototype durant 2 voire 3 ans.

Au terme de cette période, le programme pourra être envoyé au prestataire informatique pour qu'il l'intègre dans l'onglet « Nivellement » du rapport de nivellement. Le programme sera transcrit en langage Java et les données directement encodées dans cet onglet. Il ne sera plus nécessaire d'enregistrer le document et de le recharger dans la BDOA. Le langage Java permet de créer des tableaux de données et des graphiques aussi complets que ceux proposés dans Excel. De plus, le rapport de nivellements engendré en PDF intégrera directement les données du nivellement et les graphes obtenus. L'impression de deux rapports distincts, Excel et rapport de nivellement, ne se présentera plus.

Malheureusement, d'autres graphes supplémentaires ne pourront être intégrés. Il faudra reprendre les données du nivellement et créer son ou ses graphes via un classeur Excel annexé.

C'est pour ce futur arrangement que les onglets « Nivellement » et « Reportage photo & constatations » sont restés séparés.

Pour améliorer d'avantage le nivellement, il serait utile d'apporter à l'équipe de terrain l'ensemble des données et graphes antécédents. Un outil, tel qu'un ordinateur portable ou une tablette tactile, emmené lors du nivellement permettrait de visualiser les données et d'insérer de nouvelles, afin de les comparer et de voir les variations directement. Un système de transfert de données entre la BDOA et l'ordinateur devra être mis en place pour qu'avant d'aller sur terrain, le topographe prenne ces données et au retour du nivellement il les transfère sur un nouveau rapport de nivellement.

5 LA GESTION DES DOCUMENTS DANS LE FUTUR

Lors de la création du programme Excel, plusieurs documents ont été analysés (des plans de nivellement, des tableaux de données manuscrits et informatisés, des fiches balises, des fiches techniques,...) Tous ces documents n'ont malheureusement pas toujours été bien renseignés et des recherches ont dû être effectuées.

Par après, lors de l'intégration du programme dans la BDOA et de l'amélioration du concept « Nivellements », des lacunes ont pu être constatées au niveau de la gestion des documents. Tant bien pour les nivellements que pour les inspections A et B. Tous les documents annexés à une formule d'inspection A ne sont malheureusement pas repris dans les documents concernant l'ouvrage. Ceci concerne également les inspections réalisées.

Le concept « Documents » reprend à l'heure actuelle trop peu de pièces. Il serait utile de revoir la gestion de ces documents pour permettre à l'utilisateur de distinguer et de retrouver l'ensemble des documents existants pour un ouvrage dans ce concept.

Pour améliorer cette gestion quelques pistes seront données. Mais avant tout, une illustration est développée sur ce qu'il existe à l'heure actuelle.

5.1 LES DOCUMENTS À L'HEURE ACTUELLE

5.1.1 FENÊTRE DU CONCEPT « DOCUMENTS »

Pour le moment, peu de documents sont renseignés sur le concept « Documents » de la BDOA. L'accès aux documents ajoutés se fait à l'aide d'un critère de recherche détaillée ci-dessous. Cependant, en aucun cas, les rapports relatifs aux inspections A ou B, ainsi que tous documents annexés aux formules et rapports créés ne sont accessibles depuis ce concept. Ce chapitre tentera de donner des pistes d'amélioration pour la gestion des documents.

Voici la fenêtre actuelle du concept « Documents » :

Type	Nature	Date	N°/Indice	Titre	Type Localisation			
Standard	Croquis A4	28/10/2010	1/	Croquis de l'ouvrage	B.D.O.A.	👁	✎	✖

FIGURE 67 : CONCEPT "DOCUMENTS" À L'HEURE ACTUELLE

La fenêtre est séparée en deux parties. D'une part, on retrouve une description générale des documents. Pour cela, une case à texte vierge permet de définir l'ensemble des documents relatifs à l'ouvrage en question.

D'autre part, on retrouve une liste des documents de l'ouvrage. Par défaut, tous les documents sont repris dans le tableau en bas de la fenêtre. Néanmoins, un filtre permet de réaliser une recherche rapide dans l'ensemble des documents.

5.1.2 AJOUTER UN DOCUMENT

Pour l'ajout de documents, il suffit de cliquer sur le bouton « Ajouter » situé en bas à droite de la fenêtre principale (Figure 67 p. 104).

Création d'un document

Numéro/Indice * 12/05/07/11/51/27 /

Type

Nature *

Titre *

Date

Type Localisation

B.D.O.A.

URL

Localisation physique

Chargement d'un document... *

Visualisation du document

Remarques

Rangement

Auteur

Phase

Nombre de pages

Nombre d'annexes

Date d'entrée

Origine

Nature du support

Numéro d'entrée

Annuler Ok

FIGURE 68 : CRÉATION D'UN DOCUMENT

Une fenêtre telle que présentée à la Figure 68 s'ouvre et permet d'encoder les données suivantes :

- Numéro/Indice : Par défaut, la date et l'heure s'inscrivent mais cette donnée peut bien entendu être modifiée. Aucun code spécifique à un type de document n'existe. La valeur de ce numéro ou indice est aléatoire.
- Type : Le type de document est à sélectionner dans une liste déroulante. Ici, le choix se fait entre 6 types pré-encodés. Voici le choix proposé par la liste déroulante :

Type

Adjudication

As built

Avant-projet

Exécution

Projet

Standard

FIGURE 69 : LISTE DÉROULANTE DÉFINISSANT LE TYPE DE DOCUMENT AJOUTÉ

- Nature : La nature du document est également identifiée à l'aide d'une liste déroulante pré-encodée. Voici les possibilités de la liste déroulante :

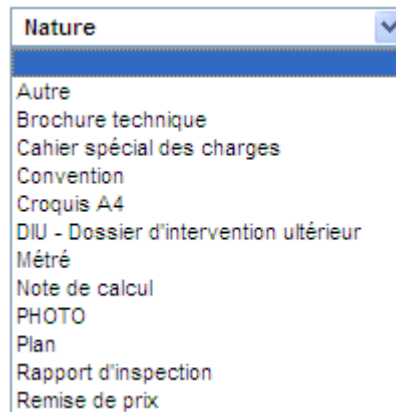


FIGURE 70 : LISTE DÉROULANTE DÉFINISSANT LA NATURE DU DOCUMENT

- Titre : Une case à texte permet d'y inscrire le titre du document.
- Date : La date est encodée manuellement dans une case à texte ou sélectionnée dans un calendrier. Lorsque l'on sélectionne l'icône « Calendrier », elle donne accès à la fenêtre où la date du jour est présélectionnée. Cette fenêtre est représentée à la Figure 71. Bien entendu une autre date peut être choisie. Lorsque la date est sélectionnée, elle se place dans la case à texte prévue à cet effet.



FIGURE 71 : CALENDRIER

- Type localisation : Une sélection à choix unique permet de déterminer le type de localisation du document. La localisation est :
 - o **BDOA** : Lorsqu'un document est localisé dans la BDOA, un bouton « Chargement d'un document » permet d'aller chercher le document sur son propre disque et de l'enregistrer sur le serveur de la BDOA.

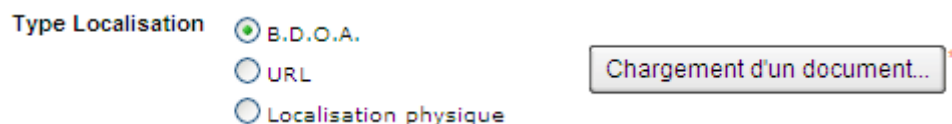


FIGURE 72 : LOCALISATION DANS LA BDOA

- **URL** : Si l'on veut donner le lien URL de la localisation du document. Lorsque ce dernier est sélectionné, une case à texte remplace le bouton « Chargement d'un document » et permet d'encoder le lien.

Type Localisation B.D.O.A. URL Localisation physique

URL *

FIGURE 73 : LOCALISATION À L'AIDE D'UN LIEN URL

- **Localisation physique** : Permet de décrire l'adresse physique du document. Une case à texte est présente pour l'encodage de la localisation physique du document.

Type Localisation B.D.O.A. URL Localisation physique

Localisation *

FIGURE 74 : LOCALISATION PHYSIQUE

Par défaut, la localisation BDOA est sélectionnée. Si le type de localisation choisi est BDOA ou URL, un bouton « Visualisation du document » permet de voir le document enregistré.

- **Remarques** : Une large case à texte permet d'encoder tous types de remarque concernant le document.

Un espace nommé « Rangement » occupe la seconde moitié de la fenêtre. Il permet d'encoder dans des cases à texte de multiples autres renseignements concernant le document tels que :

- l'auteur ;
- la phase ;
- le nombre de pages ;
- le nombre d'annexes ;
- la date d'entrée (tout comme la date du document, un calendrier permet de sélectionner la date et d'indiquer celle-ci) ;
- l'origine ;
- la nature du support ;
- le numéro d'entrée.

Tous ces autres renseignements ont été ajoutés à la demande du Grand-Duché de Luxembourg, ils sont peu utilisés au sein du SPW.

Lorsque les données sont encodées, le bouton « OK » peut être sélectionné. Si le type, la nature, le titre du document ou le type de localisation n'a pas été défini, l'ajout d'un document ne peut être fait.

Par contre, si l'ensemble des renseignements demandés a été correctement encodé et si le bouton « OK » a été sélectionné, une ligne dans le tableau des documents est ajoutée avec les données renseignées.

L'ensemble des documents ajoutés se situe dans un tableau au bas de la fenêtre du concept « Documents » (Figure 75).

Type	Nature	Date	N°/Indice	Titre	Type Localisation			
Standard	Croquis A4	28/10/2010	1/	Croquis de l'ouvrage	B.D.O.A.			
Standard	Brochure technique		12/05/07/16/19/	Gaine thermorétractable	URL			
Standard	Rapport d'inspection		12/05/07/16/21/	Dossier inspection B 1968-1998	Localisation physique			

FIGURE 75 : TABLEAU REPRENANT L'ENSEMBLE DES DOCUMENTS

Ce tableau comporte 9 colonnes. Les intitulés de ces colonnes sont :

- type ;
- nature ;
- date ;
- N°/ Indice ;
- titre ;
- type localisation ;
- une visualisation directe du document si le type de localisation est BDOA (icône œil), un accès direct au document si c'est un lien URL (icône œil) et la colonne est vide si la localisation physique a été renseignée.
- un crayon permet l'accès direct à la fenêtre tel que la Figure 68 le présente. Mais dans ce cas-ci, la fenêtre est complétée.
- Une croix permettant de supprimer le document.

L'icône « Excel » présente au-dessus du tableau ouvre une feuille reprenant les données du tableau dans un format Excel.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Type	Nature	Date	N°/Indice	Titre	Type Localisation	
2	Standard	Croquis A4	28/10/2010	1/	Croquis de l'ouvrage	B.D.O.A.	<Div null>
3	Standard	Brochure technique		12/05/07/16/19/22/	Gaine thermorétractable	URL	<Div null>
4	Standard	Rapport d'inspection		12/05/07/16/21/51/	Dossier inspection B 1968-1998	Localisation physique	

FIGURE 76 : TABLEAU DES DOCUMENTS SOUS FORMAT EXCEL

5.1.3 RECHERCHE D'UN DOCUMENT

Numéro/Indice /
Titre

Type
Nature
Type Localisation

FIGURE 77 : RECHERCHE D'UN DOCUMENT

Une recherche de document peut se faire au niveau du concept « Documents » à l'aide d'un filtre dont les critères de sélection sont :

- Numéro/indice ;
- titre ;
- type ;
- nature ;
- type de localisation.

Une fois les critères de recherche encodés et le bouton « Filtrer » sélectionné, le tableau n'affiche plus que les documents concernés. Pour retrouver tous les documents, il suffit de sélectionner le bouton « Vider » et l'ensemble des critères choisis sera effacé.

5.2 PROPOSITION D'AMÉLIORATION

5.2.1 NOUVEAUTÉS

Les documents sont, pour le moment, identifiés par cinq critères : le numéro/indice, le type, la nature et le titre ainsi que par leur type de localisation. C'est par ces différentes identifications que la recherche de document se fait.

Pour affiner l'identification d'un document, il serait intéressant de déterminer dans quel concept on retrouve le document. Cela permettra de retrouver plus facilement un document et de le présenter plus rapidement à l'utilisateur dans le concept « Documents » et dans de le concept approprié. Pour chaque concept, une liste de nature sera établie.

Pour illustration voici un exemple : Le tablier du pont route à Seneffe a été rénové. Dès lors, un plan du tablier réparé reprenant les nouveaux repères de nivellement a été conçu.

Pour introduire ce plan dans la BDOA, on choisira :

- un numéro/indice, le numéro du plan sera idéal,
- le type de document : ici on est en présence d'un plan d'exécution donc on choisira « exécution »,
- les concepts dans lesquels on pourra retrouver le document.

Ici on retrouve le plan dans :

- o Équipements, pour connaître les types de repères utilisés,
 - o Nivellement, pour que le topographe ait accès au nouveau plan,
 - o Réparation, car c'est le plan établi après les travaux réalisés.
- Pour chaque concept, une liste déroulante permettra de définir la nature du document qui est ici un plan.
 - Le type de localisation : ici on peut imaginer une localisation du type BDOA.

Tous les documents posséderont une « carte d'identité » ou un « tag » reprenant les données relatées précédemment. Grâce à cette carte d'identité, le document, dans l'exemple proposé ci-avant, pourra être présenté dans le concept « Nivellements » au niveau des plans.

5.2.2 VISUALISATION DE L'ENSEMBLE DES DOCUMENTS

Pour le concept « Documents », il est judicieux d'avoir un aperçu général de tous les documents existants concernant l'ouvrage en question. Dès lors, la description générale des documents sera abandonnée et remplacée par la visualisation des documents.

Cette première partie nommée « Visualisation des documents » donnera le nombre de documents présents pour chaque type, nature, concept et type de localisation possible à l'aide de listes déroulantes.

La liste des documents sera toujours présente ainsi que le filtre. Une option supplémentaire sera indiquée sur ce filtre, le concept sera un nouveau critère de recherche. Bien entendu, selon le type de concept choisi, la liste des natures changera. Si aucun concept n'est sélectionné, l'ensemble des natures disponibles sera présent dans la liste déroulante.

Pour terminer, dans la septième colonne de la liste des documents, différents logos existeront selon le type de localisation choisi.

- Si c'est une localisation BDOA, le logo « œil » ouvrira directement le document enregistré.
- Si on localise le document à l'aide d'un lien URL, une petite chaînette permettra d'avoir accès directement au lien.
- Si c'est une localisation physique, une petite enveloppe ouvrira une fenêtre contenant une case à texte qui donnera l'adresse physique entrée.

Toutes ces modifications sont visibles sur la figure suivante :

The screenshot shows the 'DOCUMENTS' section of the 'Base de Données des Ouvrages d'Art' software. The main content area is titled 'Visualisation des documents' and displays a summary table with columns for Type, Dénom., Qtt, Nature, Dénom., Qtt, Concept, Dénom., Qtt, Type Localisation, and Dénom., Qtt. Below this is a 'Liste des documents' section with a search filter and a detailed table of documents. The detailed table has columns for Type, Nature, Date, N/Indice, Titre, and Type Localisation, with icons for viewing, editing, and deleting each document.

Type	Dénom.	Qt	Nature	Dénom.	Qt	Concept	Dénom.	Qt	Type Localisation	Dénom.	Qt
Adjudication		2	Autre		4	Identification		0	B.D.O.A.		19
As built		0	Brochure technique		0	Construction		5	URL		0
Avant-projet		0	Cahier spécial des charges		0	Géométrie		0	Localisation physique		2

Type	Nature	Date	N/Indice	Titre	Type Localisation	Icones
Standard	Croquis A4	28/10/2010	1/	Croquis de l'ouvrage	B.D.O.A.	👁️ ✎️ ✖️
Standard	Brochure technique	28/10/2010	1/	Fiche technique	URL	🔗 ✎️ ✖️
Standard	Plan	28/10/2010	1/	Plan de nivellement	Localisation physique	📧 ✎️ ✖️

FIGURE 78 : FENÊTRE DU CONCEPT « DOCUMENTS »

5.2.3 CRÉATION D'UN DOCUMENT

Pour insérer un document dans la BDOA, deux possibilités s'offriront à l'utilisateur. Il pourra, d'une part, importer un document via le concept « Documents » en cliquant sur « Ajouter » comme décrit au point 5.1.2. D'autre part, il pourra ajouter un document, au travers des formules d'inspections et rapports de nivellements, en y ajoutant des annexes.

Selon les deux cas, une fenêtre semblable s'ouvrira à l'utilisateur. Voici un aperçu de ce à quoi elle pourrait ressembler :

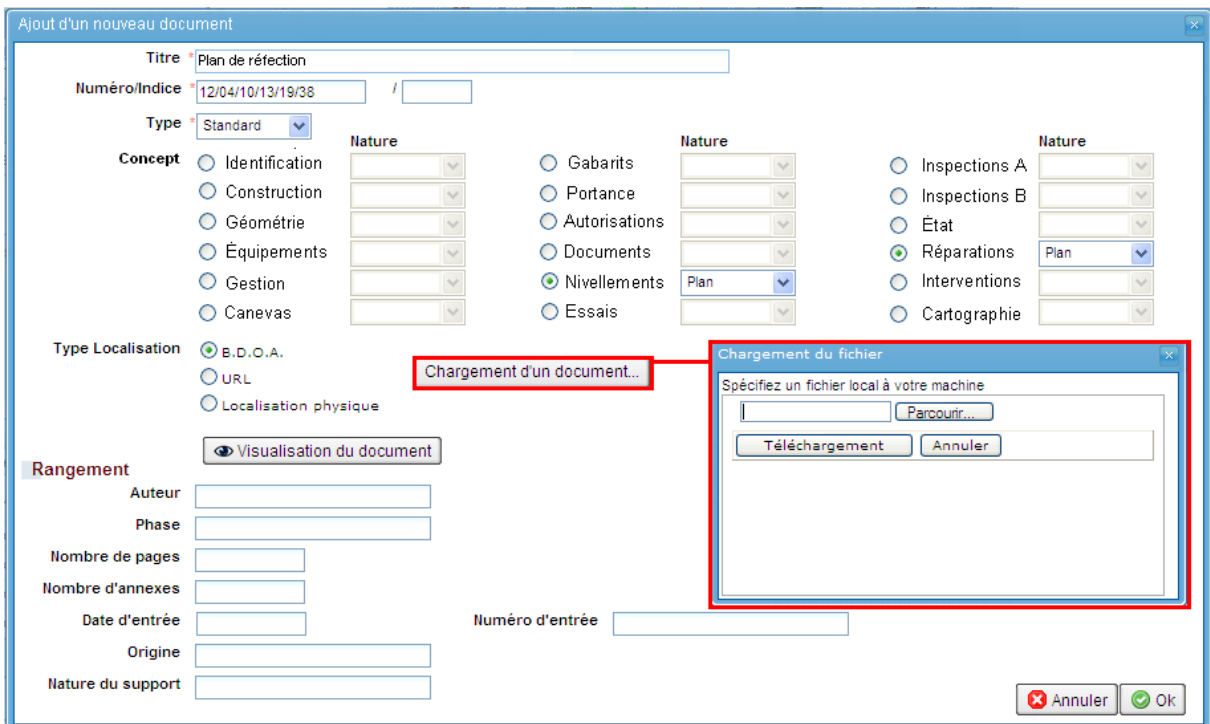


FIGURE 79 : FENÊTRE POUR L'AJOUT D'UN DOCUMENT

On y demandera :

- le titre du document dans une case à texte ;
- le numéro/indice, également dans une case à texte mais dédoublée ;
- le type de document ajouté via une liste déroulante. Dans celle-ci, on aura le choix entre :
 - o Adjudication ;
 - o As built ;
 - o Avant-projet ;
 - o Exécution ;
 - o Projet ;
 - o Standard.
- Le concept où l'on pourra retrouver le document. On y reprend les concepts établis dans la BDOA. Dans un premier temps, tous les concepts s'y retrouveront mais certains tels que cartographie, état, documents semblent a priori inutiles. Les concepts seront sélectionnés à l'aide de boutons à choix multiple.

- La nature de chaque document. Pour chaque concept, une liste déroulante unique permettra de choisir la nature du document enregistré. Par exemple, si l'on enregistre un document allant dans le concept « Nivellements », sa nature est :
 - o Dossier photo,
 - o Pont dans son ensemble,
 - o Plan,
 - o Rapport,
 - o Fiche,
 - o Autre.

- Le type de localisation, il sera semblable à celui déjà existant (voir point 5.1.2).

Les autres données « Rangement » sont laissées telles quelles, vu leur emploi par un autre utilisateur.

Tous les documents enregistrés dans la BDOA via cette fenêtre seront visibles depuis le concept « Documents ». Dès lors, on retrouvera dans « Documents » les documents enregistrés via ce concept mais également via d'autres voies telles que les annexes des rapports de nivellement et des formules d'inspection. Mais les documents enregistrés via ce concept devront également être visibles dans les autres concepts concernés.

Pour illustration, si tous les plans ont été encodés dans le concept « Documents » de la BDOA, il serait utile de retrouver le plan de nivellement dans le concept « Nivellements » sans devoir retourner au concept « Documents ». Tout en laissant la possibilité à l'utilisateur de rechercher le plan de nivellement via le filtre du concept « Documents ».

5.2.4 GESTION DES DOCUMENTS

Voici une proposition des types, concepts et natures possibles pour les documents. La liste de toutes les natures possibles est donnée pour le concept « Documents ».

Les documents porteront chacun leur carte d'identité. C'est grâce à cela qu'on peut les retrouver dans le concept « Documents », mais également « Nivellements », « Inspections A », ... Voici les possibilités données pour chaque critère :

Pour le type de document, on a :

- Adjudication,
- Avant-projet,
- Exécution,
- Projet,
- Standard.

Pour les concepts disponibles et les natures correspondantes,

- **Identification**
 - o Croquis A4
 - o Pont dans son ensemble
 - o Autre
- **Construction**
 - o Brochure technique
 - o CSC¹³
 - o Convention
 - o Croquis A4
 - o DIU¹⁴
 - o Dossier photo
 - o Fiche
 - o Métré
 - o Note de calcul
 - o Plan
 - o Remise de prix
 - o Autre
- **Géométrie**
 - o Brochure technique
 - o Croquis A4
 - o Fiche
 - o Métré
 - o Note de calcul
 - o Plan
 - o Autre
- **Équipements**
 - o Brochure technique
 - o Convention
 - o Croquis A4
 - o DIU
 - o Fiche
 - o Métré
 - o Note de calcul
 - o Plan
 - o Remise de prix
 - o Autre
- **Gestion**
 - o Convention
 - o DIU
 - o Autre
- **Canevas**
 - o Convention
 - o Croquis A4
 - o Plan
 - o Autre
- **Gabarits**
 - o Croquis A4
 - o Plan
 - o Convention
 - o Métré
 - o Note de calcul
 - o Autre
- **Portance**
 - o Croquis A4
 - o Plan
 - o Convention
 - o Métré
 - o Note de calcul
 - o Autre
- **Autorisations**
 - o Brochure technique
 - o CSC
 - o Convention
 - o Fiche
 - o Remise de prix
 - o Autre
- **Documents**
 - o Brochure technique
 - o CSC
 - o Convention
 - o Croquis A4
 - o DIU
 - o Dossier photo
 - o Métré
 - o Note de calcul
 - o Pont dans son ensemble
 - o Plan
 - o Rapport
 - o Remise de prix
 - o Fiche
 - o Autre
- **Nivellements**
 - o Dossier photo
 - o Pont dans son ensemble
 - o Plan
 - o Rapport
 - o Fiche
 - o Autre
- **Essais**
 - o Brochure technique
 - o Convention
 - o Croquis A4
 - o Note de calcul
 - o Pont dans son ensemble
 - o Plan
 - o Rapport
 - o Fiche
 - o Autre
- **Inspections A**
 - o Brochure technique
 - o Convention
 - o Croquis A4
 - o Dossier photo
 - o Pont dans son ensemble
 - o Plan
 - o Rapport
 - o Fiche
 - o Autre
- **Inspections B**
 - o Brochure technique
 - o CSC
 - o DIU
 - o Dossier photo
 - o Métré
 - o Note de calcul
 - o Plan
 - o Fiche
 - o Autre
- **État**
 - o Convention
 - o Dossier photo
 - o Pont dans son ensemble
 - o Plan
 - o Autre
- **Réparations**
 - o Brochure technique
 - o CSC
 - o Croquis A4
 - o DIU
 - o Dossier photo
 - o Métré
 - o Note de calcul
 - o Plan
 - o Remise de prix
 - o Fiche
 - o Autre
- **Interventions**
 - o Brochure technique
 - o Croquis A4
 - o DIU
 - o Dossier photo
 - o Plan
 - o Rapport
 - o Fiche
 - o Autre
- **Cartographie**
 - o Croquis A4
 - o Plan
 - o Autre

¹³ CSC : Cahier spécial des charges

¹⁴ DIU : Dossier d'Intervention Ulérieur

Voici une visualisation schématisée des documents dans la BDOA suivant les changements proposés dans ce chapitre. On y voit chaque pont avec ses propres documents et leur identification.

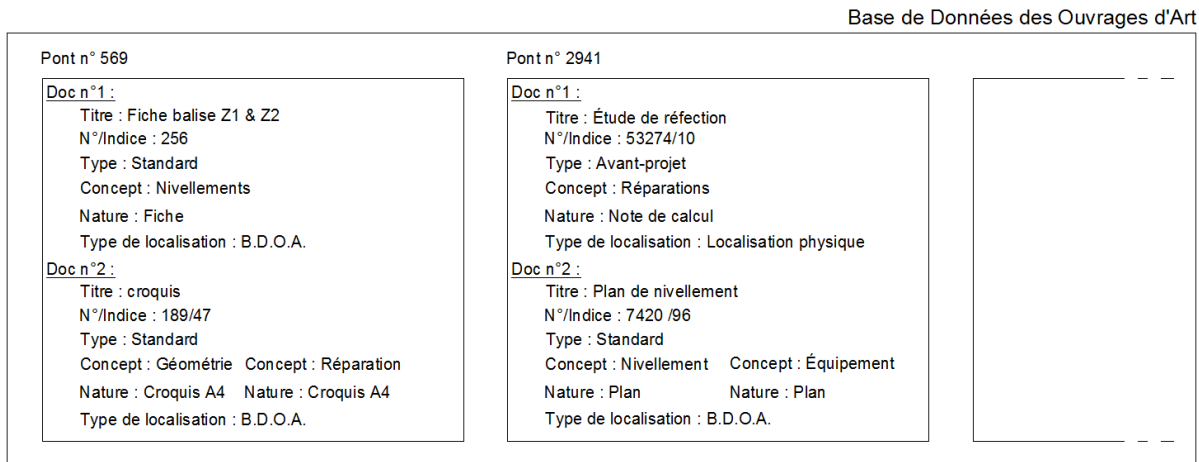


FIGURE 80 : SCHÉMATISATION DE LA BDOA

Ainsi, lorsqu'on ira sur le concept « Documents » et que l'on filtrera les documents voici ce qui s'y passera :

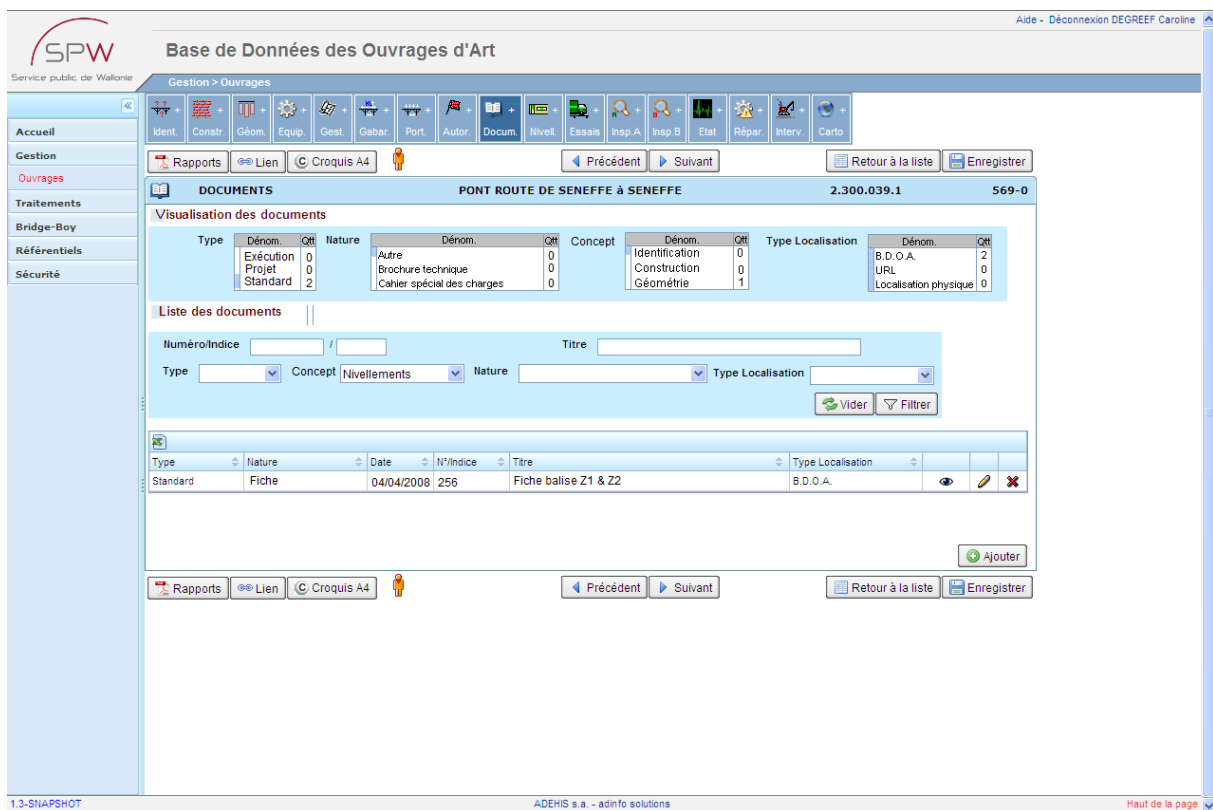


FIGURE 81 : RECHERCHE DE DOCUMENTS

Pour le pont n° 569 situé à Seneffe, lorsque le filtre est placé sur « Nivellements », il n'y a qu'un document qui s'affiche dans la liste des documents. C'est le seul document renseigné dans le concept « Nivellements ».

Dans le concept « Nivellements » au niveau des accès rapides aux plans & fiches, on pourra visualiser la fiche enregistrée. Voici ce qui s'affichera :

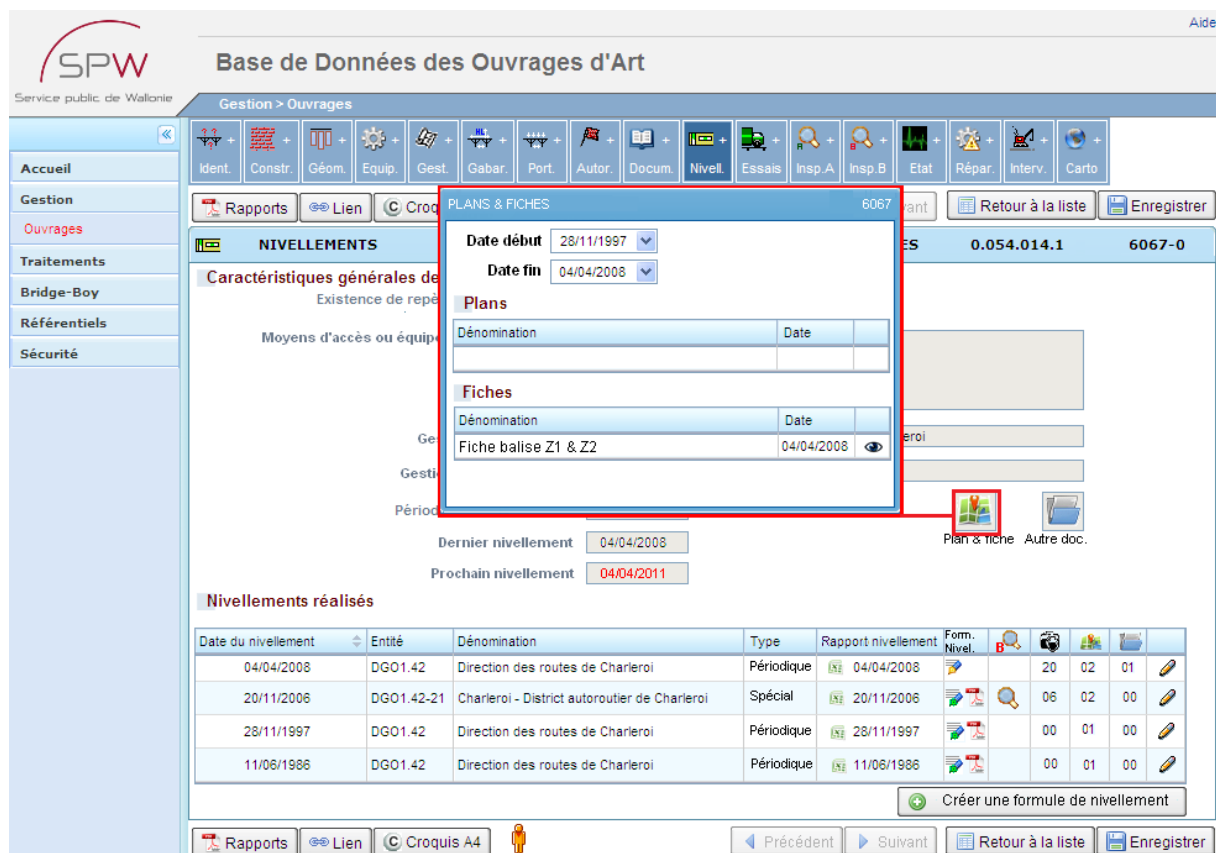


FIGURE 82 : VISUALISATION DES PLANS & FICHES SUR LE CONCEPT "NIVELLEMENTS"

Ici, le document fiche balise Z1 & Z2 a pu être enregistré depuis l'annexe du rapport de nivellement ou depuis l'ajout d'un document via le concept « Documents ».

Concernant la gestion des documents en fonction de leur date, cette approche n'a pas été développée vu le nombre de date définissant un document.

Voici quelques dates possibles à approprier à un document :

- date de création;
- date d'introduction dans la BDOA ;
- dates d'utilisation pour des nivellements ;
- date de modification du document.

Pour un nivellement, on retrouve plusieurs dates :

- date de création du rapport de nivellement ;
- date de la validation par
 - o le topographe ;
 - o l'ingénieur gestionnaire ;
 - o le Centre de Gestion.

Cette gestion des dates est complexe et demande une étude approfondie pour chaque document et concept.

6 CONCLUSIONS

Le présent travail a été consacré à l'étude et l'élaboration d'un programme graphique d'analyse ainsi que d'une amélioration de la gestion des nivellements dans la BDOA.

Un manque au niveau des nivellements s'est fait ressentir suite à l'étude et à la comparaison des nivellements et des inspections existants avant et après la mise en circulation de l'ouvrage.

Les nivellements périodiques sont peu suivis et rarement effectués à temps. Bien souvent, les dégradations sur l'ouvrage sont détectées à l'aide d'inspections A et les nivellements viennent en appui pour comprendre ces détériorations. Une inspection B est exceptionnellement demandée suite à une évolution inquiétante des nivellements d'un ouvrage.

Cette insuffisance d'intérêt pour les nivellements périodiques résulte entre autres d'un manque d'outils conviviaux et simples d'utilisation. À l'heure actuelle, aucun dispositif automatique d'analyse des données n'est disponible. Les analyses sont réalisées au cas par cas sans approche systématique. Ce programme a été créé pour pallier à cette problématique.

Pour réaliser ce programme, une étude des besoins a été menée auprès de chaque entité.

Pour cette étude, il m'a été nécessaire de :

- suivre et de participer à des réunions ;
- prendre contact avec les personnes s'occupant des nivellements ;
- percevoir la diversité des ponts et trouver des points communs pour réaliser un outil d'analyse polyvalent ;
- suivre un nivellement sur terrain ;
- présenter le programme réalisé aux différents acteurs intervenants dans les nivellements afin d'améliorer celui-ci.

Cette étude démontre que l'outil doit être :

- rapide d'utilisation ;
- facile à l'emploi ;
- adapté aux méthodes mises en place;
- modulable :
 - o des graphiques peuvent être ajoutés ;
 - o le nombre de repère et de nivellement ne doit pas être fixé ;
 - o s'adapter à la diversité des ponts à analyser ;
- intemporel, son utilisation doit se faire à court comme à long terme.

Cet outil créé sur Excel répond à l'ensemble de ces demandes grâce à des macros en langage VBA, des formules intégrées dans des feuilles cachées, des mises en forme conditionnelles, divers graphiques, etc.

La première application réalisée démontre que ce programme aurait décelé plus rapidement le problème du tassement de la pile subi par le pont n°1 à Seneffe. Une seconde application démontre la modularité du programme. À l'aide d'une insertion d'un nouveau graphique, des données d'effort dans les haubans et de déplacement des repères ont été comparés pour comprendre les mouvements subis.

On constate que ces deux ouvrages sont différents, le premier est un pont cantilever et le second un pont à haubans. Cela démontre la diversité des ponts qui peut être encodée dans le programme.

Bien entendu, un travail d'amélioration du programme est à prévoir. Des modifications, suite à l'utilisation du programme à plus grande échelle, seront à apporter.

Par la suite, le nivellement dans la BDOA a été revu et amélioré et le fichier d'analyse Excel y a été intégré. Après avoir étudié le fonctionnement de la BDOA et en se basant sur ce qui existait pour les inspections A, une FAP a été créée pour le concept « Nivellements ». Celle-ci développe entre autres la création d'un rapport type de nivellement. Il permettra d'analyser chaque nivellement et d'en réaliser un rapport PDF facilement. La formule présentée se veut la plus flexible possible. Elle permet de ne pas obliger la personne analysant le nivellement à suivre une procédure mais plutôt elle propose divers outils d'analyse.

Dans le but d'améliorer d'avantage la solution présentée, des pistes d'évolution futures ont été proposées. Ces pistes portent sur une intégration totale du programme dans le rapport. Pour cela, une retranscription en langage Java est nécessaire. De plus, une proposition de transfert des données sur un outil de terrain est présentée pour faciliter l'analyse directement lors du nivellement.

Finalement, ce travail émet des idées d'amélioration à propos de la gestion de documents dans la BDOA. Une des pistes principales est d'apporter de nouveaux critères de définition et de recherche d'un document. Cela permettra de visualiser des documents encodés via l'onglet « Annexes » du rapport de nivellement ou d'inspection A directement via le concept « Documents » de la BDOA. L'inverse sera également possible. Tous documents enregistrés dans la base de données via le concept « Documents » pourront être annexés à une formule ou un rapport. Ces changements permettront d'améliorer amplement la souplesse des documents.

En conclusion, ce travail est d'une part, une recherche à propos des manques actuels au niveau des nivellements et, d'autre part, une réalisation d'un outil comblant ces lacunes. Cette recherche m'a également permis d'améliorer l'outil présent sur la BDOA. Pour finir, des propositions ont été émises pour l'amélioration du concept « Nivellements » et de la gestion des documents dans la BDOA.

RÉFÉRENCES

Sources écrites :

GROUPE DE TRAVAIL QUALIROUTE, 2011, *Cahier des Charges Type Qualiroutes*, Service public de Wallonie, Belgique.

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT ET DES TRANSPORTS, 2004, *Règlement concernant la gestion des ouvrages d'art*, P-H BESEM, Belgique.

LEROY, J., 2002, *Éléments de topographie*, HEPL, Liège.

LECLERC, C., 2001, *Validation des capteurs à fibre optique pour l'instrumentation des barrages*, Mémoire de maîtrise en sciences appliquées, Canada, Université de Sherbrooke, 128p..

GRISARD, L., 2012, *Ouverture de la BDOA aux communes et à d'autres administrations gestionnaire d'ouvrages d'art – description des besoins de l'étude préalable-*, Fiche d'avant-projet, Liège, 6 p..

DIRECTION DE L'EXPERTISE DES OUVRAGES, s. d., *Descriptifs des développements informatiques nécessaires pour la FAP : seconde inspection manuelle dans la BDOA*, Fiche d'avant-projet, Liège, p. 11.

SAUVAGE, C., et GILLES P., s. d., *Contrôle des efforts dans les haubans ou suspentes de ponts*, SPW, Liège, p. 17.

GILLES, P., 2011, *Le monitoring des ouvrages*, SPW, Liège.

DONDONNE, E., 2000, *Rapport d'inspection B du pont PS 14 /AV Azebois*, Liège, p. 10.

DÉPARTEMENT DES EXPERTISES TECHNIQUES, 1974-2012, *Archive du pont 102 Canal Nimy-Blaton*, Belgique, Liège.

DÉPARTEMENT DES EXPERTISES TECHNIQUES, 1968-2012, *Archive du pont route à Senefte*, Belgique, Liège.

Bases de Données des Ouvrages d'Art.

<http://bdoa.spw.wallonie.be>

(Consulté du 6 février 2012 au 25 mai 2012)

Club des professionnels de l'informatique.

<http://www.developpez.com>

(Consulté le 21/04/2012).

Sources orales :

WÉPION, LE SERVICE PUBLIC DE WALLONIE, DGO1, 28/02/2012, *Journée d'information sur les ouvrages d'art*, SPW, Wépion.

GT NIVELLEMENT, 19/03/2012, *Réunion du groupe de travail nivellement avec présentation du programme graphique d'analyse Excel*, SPW, Salzinne.

GT NIVELLEMENT, 24/04/2012, *Réunion du groupe de travail nivellement pour uniformiser la méthodologie de nivellement*, SPW, Salzinne.

BERGER, O., 20/04/2012, *Entretiens avec Mr Berger informaticien chez ADEHIS*, Rhisnes.

ANNEXES

Annexe A : Fiche technique sur les niveaux numériques Leica DNA

Annexe B : Données de nivellements du pont 102 canal Nimy-Blaton

Document 1 : Données de nivellements du 08/10/1978 au 27/06/1988

Document 2 : Données de nivellements du 27/06/1988 au 28/11/1991

Document 3 : Données de nivellements de juin 1988 à août 2011

Annexe C : Données de nivellements du pont Route de Seneffe

Document 1 : Données du nivellement initial du 03/03/80

Document 2 : Données de nivellements du 03/03/80 au 03/03/2010

Annexe D : Données du Pont Père Pire

Document 1 : Données des efforts dans les haubans du 20/04/1988 et du 02/03/2011

Document 2 : Données de nivellements de mars 1988 et mars 2012