

INSTITUTION INTERDEPARTEMENTALE
des BARRAGES-RESERVOIRS
du BASSIN de la SEINE
8, rue Villot - 75012 PARIS

N O T E

SUR LA DETERMINATION DES DEBITS DE LA SEINE
A PARIS

par

B. G A S P A R D

Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées

pas changé, nous trouvons des valeurs différentes suivant la disposition des hausses et des aiguilles. Suivant deux états du barrage il se produit des tourbillons variables dans le temps dont les vitesses s'ajoutent ou se retranchent à la vitesse du courant et on peut suivant l'ordre de succession des mesures de vitesse trouver des nombres nettement différents. Cette station de jaugeage a d'ailleurs été abandonnée et remplacée par une station à mi-distance de deux barrages.

Ayant étudié la correspondance entre ces deux sections de jaugeage (l'ancienne et la nouvelle) pour un même débit, nous trouvons au voisinage du barrage des nombres supérieurs ou inférieurs (suivant l'ouverture) par rapport au débit mesuré dans la section nettement éloignée des barrages.

On peut d'autre part dire que sur une rivière canalisée lorsque les barrages sont à moitié dégrillés, faire des jaugeages avec le plus grand soin ne donne pas grand renseignement. Pour une même hauteur d'eau et une même pente locale on peut avoir des débits extrêmement variables.

Faire la moyenne de tous les débits mesurés pour une même hauteur d'eau ne mène pas non plus à grand chose même en évaluant les limites de variation.

Une formule liant le débit avec la hauteur ne peut être recherchée que lorsqu'il y a de forts débits et encore à ce moment là il y a des débâtements dans le lit majeur qui troublent les mesures.

De plus pour les petits débits de nouvelles variables interviennent (il s'agit de la dimension des biefs et de leur volume). Par exemple le resserrement des aiguilles d'un barrage à aiguille fait baisser le niveau de l'eau dans le bief d'aval.

En été par exemple il est interdit aux barragistes d'enlever ou de remettre plus de trois aiguilles sans en demander l'autorisation - l'intervention des éclusiers et des barragistes a une importance telle que si tous agissent dans le même sens sans autorisation, le débit se trouve augmenté ou diminué d'une façon considérable et ceci parce que la vidange ou le remplissage d'un bief donne un débit de l'ordre de grandeur de celui de la rivière. Dans une journée d'été s'il y a des erreurs de manoeuvre le débit peut passer du simple au double ou à la moitié - un jaugeage fait à l'aval ne signifie donc rien pour noter un débit journalier.

D'autre part, depuis une cinquantaine d'années toutes les villes riveraines pompent de l'eau potable ou industrielle en rivière et en été cette eau n'est pas entièrement rendue à la rivière par les égouts. Elle est plus ou moins rendue suivant qu'il fait plus ou moins chaud. Également il a été construit dans les hautes vallées de la Seine des réservoirs faisant des lâchures en période d'été. L'importance de ces réservoirs est telle que pour ne citer que ce qui s'est passé pendant le mois

d'août 1950 le débit naturel est tombé à 30 m³/sec, les réservoirs lâchèrent en plus à ce moment 18 m³/sec, mais comme les villes pompaient 16 m³/sec et cela à des usines échelonnées le long de la rivière, avec des restitutions échelonnées également, que signifie à ce moment-là le mot "débit de la rivière".

Ces difficultés n'avaient pas échappé à certains de mes prédécesseurs et en particulier M. LANG pensait résoudre le problème de la façon suivante : En opérant sur des jaugeages réels et en faisant des moyennes on aurait, pour un état donné de la rivière (même hauteur d'eau dans la même section) une idée de l'ordre de grandeur du débit. Si en plus de la moyenne, on avait une idée de l'importance des erreurs en plus ou en moins, le problème serait résolu. Cette méthode statistique sur des jaugeages réels faits au cours des années antérieures paraît sans reproche.

Mais là intervient une autre cause d'erreurs si on fait des moyennes sur des jaugeages espacés dans le temps par exemple sur un siècle, on n'arrive à rien. C'est que l'état de la rivière dans la traversée de Paris ou des autres Villes a changé progressivement au cours du 19^{ème} siècle (par exemple resserrement du lit mineur dans Paris, construction de nouveaux ponts d'une part, suppression de certains obstacles et approfondissements du lit par dragages d'autre part) les jaugeages faits il y a 100 ans ne correspondent plus aux hauteurs d'eau actuelles même avec les barrages complètement effacés. On ne peut donc se servir des jaugeages réels même au point de vue calcul statistique car celui-ci n'élimine que les erreurs accidentelles et non pas les variations dues à l'introduction progressive dans le temps de nouvelles données. Pour suivre l'idée de M. LANG, on pourrait prendre un espace de temps où peu de travaux ont été faits :

par exemple en ne tenant compte que des jaugeages faits ces cinq dernières années dans des sections de la rivière qui n'ont pas trop changé au point de vue ouvrages, en tenant compte également de toutes les variables que l'on peut faire intervenir parce qu'on connaît leurs variations (manoeuvres des barrages, lâchures des réservoirs, évaluation du débit détourné par les prises d'eau, restitution par les égouts, etc...). Mais là même il y a des difficultés : par exemple les lâchures faites à 200 Km de Paris sont absorbées par les nappes qui accompagnent le débit visible dans le lit mineur, le lit majeur coule lui aussi lentement. Lors que nous abaissons les niveaux des biefs au moment des chômages, nous voyons couler pendant plusieurs jours des restitutions d'eau par les rives. En de nombreux points le lit de la Seine est étanche, mais pas partout. Si à l'aval de Paris la couche de vase qui tapisse le lit est étanche, il n'en est pas de même à la hauteur de Fontainebleau et sur la Marne à la traversée de la Champagne Pouilleuse.

Nous avons présenté toutes ces remarques pour montrer combien il est difficile d'évaluer avec précision la quantité d'eau qui passe annuellement à Paris et la répartition de cette quantité suivant les jours et les mois de l'année.

Quand nous avons réalisé la grandeur et l'importance de tous ces obstacles, nous avons donc pensé que pour connaître le débit, il fallait un jaugeage journalier fait tous les jours à la même heure. Il n'était pas question de barrer tous les jours la rivière et d'arrêter la navigation fluviale. D'ailleurs même en entraînant spécialement une équipe et en créant une station de jaugeage spéciale comme nous l'avions fait près d'Auxerre aux Dumonts nos crédits n'y auraient pas suffi. On peut en effet concevoir un transporteur aérien plus élevé que le tirant d'air des bateaux avec une nacelle suspendue supportant un moulinet. Cette solution possible à 1 Km à l'aval d'Auxerre s'est révélée impraticable à Paris ou dans la banlieue.

Nous nous sommes donc rabattu sur l'évaluation du débit tous les jours vers 9h du matin au barrage de Suresnes. Le nouveau barrage de Suresnes terminé en 1933 s'y prête beaucoup mieux que l'ancien qui a été démoli en 1935.

Nous rappellerons à cette occasion que le barrage de Suresnes est à cheval sur deux bras de la Seine : sur le bras rive droite un barrage à grandes vannes avec coursiers formant déversoirs en deux passes distinctes, sur le bras rive gauche un barrage à hausses multiples, celles-ci pouvant prendre trois positions (à plat au fond, un cran intermédiaire et un cran supérieur). Le premier barrage est la passe déversoir, le second la passe navigable car lorsque toutes les hausses sont à plat au fond les bateaux passent par-dessus.

En été on s'arrange pour remonter au cran supérieur toutes les hausses de la passe navigable et le débit passe presque entièrement par le déversoir sauf les écluses. Comme ce nouveau barrage est relativement étanche et qu'il n'y a pas en général débordement par-dessus la passe navigable, on devrait avoir avec précision le débit de la Seine grâce au déversoir. L'expérience a montré qu'il n'en était rien, car à ce moment il y a les écluses. Il passe 100 bateaux par jour aux écluses de Suresnes. La vidange des écluses donne 2 à 3 m³/sec sur un éclusage de 20 minutes. Lorsque le débit tombe à 30 m³/sec. on a donc des erreurs de 10%. De plus le déplacement des bateaux donne des ondes qui déferlent par-dessus les hausses de la passe navigable.

Pour les débits supérieurs à 100 m³/sec. l'erreur relative diminue mais à ce moment-là, il faut plus ou moins abaisser les hausses de la passe navigable.

Nous avons alors prescrit de procéder à des manoeuvres ou création de chicanes toujours les mêmes de façon que pour une hauteur d'eau la même à l'amont, pour une hauteur d'eau la même à l'aval, pour une même hauteur de chute à travers un barrage ouvert symétriquement suivant une certaine disposition on puisse admettre qu'à deux moments différents on ait le même débit.

Nous avons donc prescrit des dispositions de barrage que nous avons accompagnées de jaugeages précis au moulinet ceci suffisamment à l'amont ou à l'aval et ainsi cherché à établir des abques comportant pour la même disposition des hausses,

- 1° - une échelle des hauteurs à l'amont,
- 2° - une échelle des hauteurs de chute,
- 3° - une échelle des débits correspondants.

Bien que le travail soit considérable nous sommes arrivés à un résultat pour Suresnes et depuis 1944 nous avons pu donner chaque matin un débit journalier.

Voici le résultat de nos travaux (pièce N° 2) (donner quelques explications sur ce qui s'est passé en septembre 1946 - en octobre 1947 à revoir août 1949 - la moyenne de l'année 1949 a été de 91 m³/sec.). Ceci étant fait, nous avons voulu nous rendre compte de l'exactitude de nos mesures et avons cherché à déterminer les erreurs absolues aux divers débits. Quel était en effet notre but ?

Notre but était double : 1° - pouvoir répondre instantanément à une demande du Ministre, de la Préfecture de la Seine, d'un journaliste, ou même d'un hydraulicien, demandant quel est le débit de la Seine aujourd'hui. Quand je suis arrivé dans le Service en 1932, il m'était absolument impossible de donner un renseignement sans faire faire un jaugeage sommaire et je me souviens être resté sans réponse vers 1933 aux questions d'un savant américain, venu me trouver sans se faire annoncer dans mon cabinet et s'étonnant qu'à Paris un laboratoire d'hydraulique ne lui fournisse pas immédiatement les réponses à ses questions comme il aurait été sans doute possible de le faire pour telle rivière de même importance aux U.S.A. Bien entendu quand il s'agissait de journaliste nous avions toujours une réponse prête, mais son imprécision était vraiment exagérée.

2° - la seconde partie de mon propos était une préoccupation de fonctionnaire, je vous rappelle que le pompage de l'eau en rivière pour l'arrosage des champs et jardins, l'alimentation en eau des villes, les usages industriels, les condenseurs des grandes centrales électriques, etc... font l'objet de versement de redevances aux Domaines de l'Etat. Le prix n'est pas le même suivant que l'eau est restituée ou non. A partir du moment où il paie, le Français a toujours tendance à diminuer l'importance du payment et systématiquement à part les très grandes usines, le prélèvement fait est supérieur au prélèvement annoncé. D'autre part, les renseignements sur ces prélèvements ne nous arrivent que huit à quinze jours après.

Ceci peut paraître sans intérêt, mais nous allons en montrer l'importance. Prenons l'exemple du mois d'août 1949, à certains jours il était pompé dans le département de la Seine sur la Marne et la Seine à l'amont du barrage de Suresnes 22 m³/sec. (total de tous les pompages

de toutes les usines) - ce qui en restait, c'est-à-dire ce qui n'était pas évaporé ou perdu dans le sol, était restitué à l'aval de Paris sous forme d'eaux d'égout à Clichy, à Bezons, à Achères - on a noté certains jours 7 à 8 m³/sec restant à Suresnes sur un débit probable de 25 à 30 m³/sec. Pour peu qu'on ait un orage à ce moment-là toutes les eaux de surface chargées d'huiles, de poussières et des détritiques de la Ville, arrivent à la Seine, les poissons, faute d'eau pure en quantité suffisante crevent instantanément. L'eau du bief de Suresnes est alors pratiquement stagnante (courant de 2 cm à la seconde) les poissons meurent comme dans un aquarium où l'eau est sale. Or, les autorisations de prélèvement sont parfois dépassées du simple au double certains jours d'été et nous n'avons pas un moyen de nous rendre compte journalièrement des prélèvements exacts. C'est pourquoi nous avons cherché à serrer de près le débit de la Seine, surtout dans les petits débits.

C'est alors que nous avons eu l'idée de vérifier le débit à Suresnes par l'addition des débits de la Seine et de la Marne pris 24 heures auparavant à une distance telle de Paris que ces débits parviennent en même temps à Suresnes. Il se trouve que les barrages modernes construits à Meaux et Vives-Eaux correspondent à peu près à cette condition que le temps de propagation des débits de 100 à 500 mètres cubes secondes au total depuis Meaux à Vives-Eaux jusqu'à Suresnes soit de 24 heures. Sur la Marne, le Grand Morin n'est pas pris en compte à Meaux puisqu'il aboutit à Esbly situé à l'aval; sur la Seine, entre Melun et Paris, aboutissent l'Essonne, l'Orge et l'Yères.

En principe il aurait fallu ajouter aux débits mesurés à Meaux et Melun et additionnés, le débit de ces quatre petites rivières.

Je vous dirai tout à l'heure ce qui a été fait.

Il fallait donc recommencer à tarer par des jaugeages faits suffisamment loin des barrages de Meaux et de Vives Eaux près de Melun ces barrages. Mais nous n'avions pas les crédits et le personnel nécessaires. Il fallait donc rester aux barrages mêmes. Mais du fait qu'il n'y a que des hausses dans ces barrages le problème à résoudre était pratiquement inextricable.

Nous eûmes alors l'idée de nous servir des lois de la similitude et nous avons fait étudier sur modèle réduit toutes les dispositions de hausses prescrites aux barrages de Meaux et de Vives-Eaux après plusieurs années d'essais et de mesures, nous disposons maintenant d'abaques donnant, pour chacun de ces barrages, compte tenu des dispositions de hausses adoptées, le débit en fonction de la hauteur d'eau à l'amont et de la chute.

Ceci n'a pas été facile car à Vives Eaux par exemple il y a 74 hausses et 4 positions par hausse (à plat au fond, un cran inférieur, un cran intermédiaire, un cran supérieur) les hausses n'ont qu'1 m 70 de large. Il peut y avoir des corps étrangers tels que branches d'arbre

(lière crue de l'hiver). Cela revient à mesurer un débit à travers un peigne dont les dents ne seraient pas toutes de même hauteur. L'ensemble de ces études a coûté plus de 4 millions de 1945 à 1949.

Depuis le début de 1950 nous sommes en mesure de comparer tous les jours le débit mesuré à Suresnes avec les débits de la veille additionnés de Meaux et Vives Eaux.

Nous avons constaté que très souvent comme il faut s'y attendre temps de crue - débit Meaux + Vives Eaux était supérieur à débit mesuré à Suresnes - or comme nous avons une idée de l'ordre de grandeur des pompes on devrait avoir : débit Meaux + Vives Eaux inférieur ou égal à débit Suresnes + pompes.

ou avec plus de précisions :

débit Meaux + Vives Eaux + débits des 4 petites rivières 12 heures auparavant en moyenne = débit Suresnes + pompes à l'amont de Suresnes (si l'on est en régime permanent).

Or très souvent nous avons débit Meaux + Vives Eaux supérieur à débit Suresnes + pompes. Pièce N°3.

En serrant le problème de plus près nous avons constaté que nos abaques de Suresnes étaient certainement moins précis que les abaques établis d'après essais sur modèles réduits.

Les débits donnés à Suresnes sont parfois faux de 15% en plus ou en moins en été et 10% au printemps ou en automne et encore cela pour des nombres inférieurs à 500 m³/sec. Au-delà on a parfois des chiffres absolument fantaisistes.

Nous avons tenté également de faire intervenir pour connaître le débit à Suresnes le débit de Meaux + le débit de Vives Eaux chacun affecté d'un pourcentage en plus proportionnel au rapport des bassins versants intéressés. Mais cette correction ne serait valable que pour un débit annuel et non pas pour des débits journaliers. Il y a trop de différence entre le climat de la région parisienne et le climat du plateau de Langres ou du Morvan.

Il résulte de nos études que les débits annoncés à Meaux et à Vives Eaux doivent être vrais à 5 ou 7% près en plus ou en moins. Certaines mesures directes et certaines vérifications ont pu être faites ces dernières à partir des débits de l'Yonne et de la petite Seine, le Loing exceptés.

Voir pièce N°3 quelques graphiques de débits annuels à Meaux et Vives Eaux;

Nous n'avons pas été satisfait de ces résultats car l'ensemble des opérations journalières à réaliser est encore important. En effet Suresnes peut indiquer à 9h. le débit - Ce n'est que par téléphone que les débits de Meaux et de Vives Eaux peuvent parvenir car l'envoi d'une lettre exige parfois un temps supérieur à 24 h. En tout cas, il faut en plus des 3 agents de Meaux, Suresnes et Vives Eaux, spécialiser un agent au bureau de l'Ingénieur en Chef pour faire chaque jour ce travail de comparaison. Le personnel étant très réduit dans notre Administration, il importerait d'avoir une méthode plus rapide et moins onéreuse.

C'est ainsi que nous avons été amenés à nous servir des renseignements journaliers de transmission des cotes d'eau. Nous disposons même de lignes téléphoniques spéciales pour ces transmissions. En particulier à 9h nous arrivent une cote d'eau sur l'Yonne (Joigny) deux cotes sur la Marne (Dizy et Chalifert), 3 cotes d'eau sur la Haute-Seine (Montereau, Melun et Port à l'Anglais) 6 cotes dans Paris et à l'aval dont en particulier la cote d'eau du Pont National (1er Pont dans Paris à l'amont), la cote au Pont d'Austerlitz, la cote au Viaduc d'Auteuil (dernier pont dans Paris à l'aval). Le Pont National est suffisamment éloigné du pont immédiatement à l'amont et le pont d'Auteuil également suffisamment éloigné du pont d'aval.

De ces 3 dernières cotes nous pouvons tirer journalièrement :

- 1° - la pente moyenne dans Paris,
- 2° - la section mouillée à Austerlitz.

Pratiquement la section mouillée à Austerlitz étant top irrégulière, il était plus habile d'établir une correspondance entre la cote à Austerlitz et une section mouillée dans une partie de la Seine où celle-ci est un véritable canal, c'est-à-dire entre le Pont Royal et le Pont de Solférino, la Seine y est rectiligne sur 300 m. et la section surtout pour les petits débits est presque rectangulaire. Nous avons ainsi que pour la portion Pont des Invalides - Pont de l'Alma une excellente carte des fonds de ces sections de rivière, les fonds y varient très peu.

Nous avons donc fait dresser un premier tableau comportant en ordonnées les cotes à Austerlitz de 5 en 5 cm. depuis la retenue normale 26, 40 jusqu'à 29, 20. Au-dessus de cette cote qui correspond à un débit de peu supérieur à 1.000 m³ la Seine se comporte certainement comme un fleuve et non plus comme une succession de bassins se vidant l'un dans l'autre et le problème pour les gros débits est alors simplifié. En abscisse nous portons les pentes moyennes dans Paris de 5 en 5 millièmes ($\frac{0,5}{100.000}$), c'est-à-dire en abscisse nous avons porté les

pentes moyennes dans la traversée de Paris de demi-centimètre en demi-centimètre par kilomètre. Cela donne des cases que nous avons fait remplir de la façon suivante : depuis 1944 à Suresnes comme il est dit plus haut est déterminé un débit journalier à 8h. correspondant à une cote à

Austerlitz et une pente moyenne dans Paris relevée également à 8h. du matin.

Dans chaque case on trouvera d'abord la moyenne arithmétique de tous les débits des jours où la Seine aura été à la même cote à Austerlitz et à la même pente moyenne compte tenu de la largeur des cases ci-dessous déterminées. On dispose en effet des résultats de 2890 jours comme il y a une corrélation entre les pentes et les hauteurs à Austerlitz on n'a à remplir en réalité que 560 cases environ. Enfin comme des états de la rivière sont plus probables que d'autres, certains nombres portés sont des moyennes de 10 nombres environ, alors que d'autres dispositions n'ont été enregistrées qu'une seule fois en 7 ans et 11 mois. Nous avons ensuite écarté les débits correspondant à des conformations aberrantes par des courbes enveloppes.

Pour passer à un autre tableau éliminant d'une part les erreurs accidentelles et d'autre part les erreurs de principe voici comment nous avons procédé :

a) Nous avons d'abord cherché une loi dans les différences tabulaires verticales, c'est-à-dire pour une pente donnée suivant la hauteur d'eau. Pour une même pente, seules l'augmentation de section et du rayon moyen interviennent. Or en s'adressant à la section choisie soit entre le Pont Royal et le pont de Solférino (S1) soit entre le Pont des Invalides et le pont de l'Alma (S2) qui est constituée soit par un rectangle, soit par un rectangle surmonté d'un autre rectangle un peu plus long (le lit majeur est en effet analogue au lit mineur mais un peu plus large) on aura des d S égaux jusqu'à la cote de submersion des quais, puis au-dessus des d S toujours égaux entre eux mais un supérieur à ceux du lit mineur. Comme on a affaire suivant la pente qu'à 10 ou 12 hauteurs environ, on a prévu finalement les d S égaux pour une pente donnée et par conséquent le rayon moyen variant très peu pour ces 12 hauteurs les différentielles de débit ont été prises égales entre elles. Je signale que pour faire les calculs on a pris la section S1 mais que les calculs ont été également commencés pour la section S2 c'est-à-dire la section dont je vous ai parlé plus haut entre le pont des Invalides et le Pont de l'Alma.

Après avoir étudié le tableau I suivant les colonnes verticales nous avons cherché à l'étudier suivant les lignes horizontales. Pour pouvoir ordonner tous ces nombres, voici comment nous avons raisonné :

Si la Seine était un canal entre le Pont National et le Pont Viaduc d'Auteuil quand le débit croît, la pente resterait sensiblement constante ou du moins croîtrait légèrement avec le débit D - (nous rappelons que i est la pente moyenne dans Paris) c'est ce qui se vérifie dans Paris aux faibles débits. Les lignes d'eau aux petits débits sont parallèles, puis aux forts débits, s'inclinent vers l'aval à cause de la présence des Iles Saint-Louis et de la Cité.

En adoptant pour discuter le tableau I la formule de Bazin on a :

$$D = S_1 c R \frac{I}{2} \frac{1}{2} \frac{I}{2} \quad (1)$$

R rayon moyen de la section S₁ de référence.-

si quand le débit augmente la pente moyenne restait constante (lignes d'eau parallèles) le débit varierait comme S₁ et R $\frac{I}{2}$. Si on désigne par

h la hauteur au-dessus d'un fond fictif et I la largeur entre quais d'abord puis plus haut entre parapets, on a sensiblement :

$$D = c I h \frac{3}{2} \frac{1}{2} \frac{I}{2} \quad (2) \text{ - Nous rappelons que dans la formule}$$

de Bazin c est un coefficient qui dans un canal doit être constant et ne dépend que de la rugosité des parois.

Dans la traversée de Paris nous n'avons pas hésité pour rendre compte des faits à faire varier c et nous avons recalculé des débits à partir de la formule (1). Ce sont les nombres qui figurent dans le tableau n°I en face des cotes en centimètres de hauteur non multiples de 5.

Voici exactement comment nous nous y sommes pris. Partant des débits connus de Suresnes et connaissant pour chaque case du tableau la pente et la hauteur h = R sensiblement au-dessus du fond fictif de la section S₁, nous avons déterminé un certain nombre de valeurs de c. Nous les avons rangées dans un tableau comportant sur une première ligne les rayons moyens comptés de 10 en 10 cm. d'abord puis de 25 en 25 cm. et sur la première colonne verticale de gauche les pentes moyennes (h₁ cote du Pont National - h₂ la cote au pont d'Auteuil, ces pentes étant égales à $\frac{h_1 - h_2}{11,2}$ étant la distance entre ces 2 ponts.

Ce tableau a donné des nombres assez cohérents, mais variant de 21 à 41 tels que 22,5; 26,5; 30,6; 31; 34; 37; 40,5; et 41.

Nous avons alors mis au point le tableau rectifié ci-après pour les coefficients c en nous imposant seulement que c croisse avec le rayon moyen et la pente. Nous avons donc interpolé de notre mieux pour fixer ces coefficients c.

		lit majeur								
Rayon moyen ou hauteur h		5,07	5,17	5,27	5,37	5,5	5,75	6,00		
au-dessus d'un fond fictif en S ₁									6,23; 5,93; 6,52; 6,	
Pente multipliés par 10.000	0,1	<u>21</u>	<u>22,5</u>	<u>26,5</u>	<u>30,5</u>					
	0,2	<u>26,5</u>	28	29	<u>30,6</u>					
	0,3		28,5	29,5	30,7	<u>31,5</u>				
	0,4		30	30,4	30,8	31,6				
	0,6			30,5	30,9	31,7				
	0,8			30,6	<u>31</u>	32	33			
	I				32	<u>33</u>	<u>35</u>	<u>37</u>		
	I,2					34	<u>37</u>	37,5; 40		
	I,4						37,5	38	<u>40,5</u>	
I,6							39	<u>41</u>		
I,8								43	44	
									45	46

N.B. - Les chiffres soulignés sont des chiffres calculés à partir des débits.

On notera sur le tableau de la section S₁ que le rayon moyen subit une discontinuité vers les cotes 28,60 - 28,90 (passage au lit majeur) ce qui donne 29, 20 - 29, 50 à Austerlitz donc sort du tableau I

On notera également que la pente est très rarement supérieure à 16,5 cm. par KM dans Paris, mais que l'on a constaté parfois des

- 13 - pentes de 18 cm. par Km en fin de crue, l'aval des lles se vidant plus vite que l'amont.

En fin, en repartant des coefficients c ainsi déterminés on a calculé des débits en appliquant la formule (2) c'est ce qui a donné comme je l'ai dit tout à l'heure les nombres figurés sur le tableau I en grands chiffres droits. Ces nombres calculés nous ont ensuite servi points de repère. Ils nous donnent des ordres de grandeur.

Pour ordonner les nombres du tableau I nous aurions pu ensuite chercher une loi pour les différences tabulaires horizontales, c'est-à-dire celles correspondant à une même hauteur d'eau dans les sections S1 ou S2, la pente variant, mais les nombres du tableau I sont trop irréguliers horizontalement pour en tirer quelque chose.

Nous avons donc procédé autrement - comme la base consistait en moyennes journalières données par Suresnes, nous avons cherché à éliminer à Suresnes les erreurs de principe et pour cela la considération des débits à Vives Eaux et à Meaux nous a servi. Nous nous sommes livrés à une compilation des résultats des 3 barrages du 14 Novembre 1950 au 14 Février 1951 (débits variant de 50 m³ à 650 m³), corrigés par les variations des hauteurs d'eau à Joigny (Yonne) Damery et Chalifert (Marne) et compte tenu des temps de propagation des bosses et creux sur la courbe des débits.

Egalement en Février et Mars 1951 nous avons pu à la fois vérifier les temps de propagation des ondes de crue et de décrue.

Egalement en Mai 1951, nous avons pu constater que pour des débits de l'ordre de 250 m³, Suresnes donnait une erreur systématique de 30 m³/sec. en moins.

De même en août 1951, pour des débits compris ^{entre} 150 m³/sec. plus ou moins 40 m³/sec. nous avons trouvé à Suresnes une erreur systématique de 10 m³/sec en moins pour ces débits.

Nous avons donc procédé à une rectification des erreurs systématiques pour les débits entre 80 m³ et 700 m³.

Restait à ordonner les débits rectifiés pour établir le tableau II.

Nous sommes revenus à la formule 2 qui peut s'écrire :

$$D = K \frac{h^3}{2} i - \frac{I}{2} \quad (2)$$

Si on dérive par rapport à h $\frac{dD}{dh} = \frac{3}{2} K h^2 i - \frac{I}{2}$ (3)

Si on dérive par rapport à i $\frac{dD}{di} = \frac{1}{2} K h^3 - \frac{I}{2}$ (4)

-14 - Application de la formule (3)

D'après le tableau de la section S1 et le tableau I on a :
pour $i = \frac{1}{100.000}$ la cote d'eau varie à Austerlitz de 26,40 à 26,80

h de la section S1 varie de 4,9 à 5,07 et la racine de 4,9 ou de 5,07 est très voisine. Cela nous confirme dans notre première idée de prendre les différences tabulaires verticales égales pour cette pente.

pour $i = \frac{8}{100.000}$ la cote d'eau à Austerlitz varie de 26,85 à 27,55

soit h de la section S1 varie de 5,03 à 5,58, la racine carrée varie de 2,25 à 2,36 soit de 2,5% sur la moyenne, il n'est donc pas nécessaire de prendre des différences tabulaires variables.

Enfin pour $i = \frac{16}{100.000}$ la cote d'eau à Austerlitz varie de 28,5

à 29,20 soit dans la section S1 h varie de 6,15 à 6,52, la racine carrée varie de 2,48 à 2,56 donc une variation dont il n'y a pas lieu de tenir compte.

Nous vérifions donc, ce que nous avons déjà admis plus haut (voir page 10) que les différentielles de débit pour une pente donnée peuvent être prises constantes sensiblement.

Finalement, c'est sur la section S2 entre les Invalides et l'Alma que nous avons opéré (voir tableau I).

Enfin, toujours pour chercher à ordonner les lignes horizontales nous avons utilisé la formule (4) - on voit que si h restait fixe i croît, les différences tabulaires horizontales diminuent et lorsque i passe de 0,1 à 1,6 elles doivent varier proportionnellement de 3,5 à 0,8, donc diminuer au quart environ. Comme nous avons pris les différences tabulaires entre les pentes de 1 et 1,5 pour 100.000, voisines de 25 environ, le quart doit donner 6 environ, c'est ce qui a été à peu près réalisé dans notre tableau.

Nous avons ensuite interpolé ces différences tabulaires au mieux en tenant compte :

1°) des corrections que nous avons fait subir aux débits de Suresnes pour tenir compte des indications de la somme Meaux + Vives-Eaux - pompages - affaissement du débit.

2°) des points de repère donnés par le tableau I.

Restait une dernière vérification à faire : c'est en passant de colonne à colonne, déterminer la loi de croissance des différences tabulaires verticales moyennes.

Pour cela nous avons considéré le tableau II comme un nuage de points où nous avons cherché à déterminer une fibre moyenne. Voir ce qui a été indiqué sur le tableau II par des débits soulignés où des croix entre deux débits. C'est sur cette fibre moyenne que nous avons fait porter la croissance quand on passe d'une colonne à une autre. Cela nous a donné à partir du tableau I un ordre de grandeur de la différence tabulaire dans la colonne suivante. Comme on tire de la formule (3) que $\frac{D_2}{D_1}$ varie comme $1 \frac{1}{2}$, nous avons pu ranger pour les pentes variant de 1 à 16, les différences tabulaires verticales moyennes comme variant de 4,5 à 15,5.

En résumé après avoir établi successivement 4 essais de tableau II, nous nous sommes finalement arrêté au tableau définitif du 30 Novembre 1951.

Restait à vérifier l'exactitude de cette dernière version. La petite crue qui a commencé le 27 décembre 1951 et qui a eu son point maximum le 25 Janvier 1952 nous a permis de constater qu'un graphique de débits déterminé d'après notre tableau prenait place entre le graphique de débit de Suresnes et celui des deux barrages d'amont et cela en supprimant les pointes et creux inexplicables autrement qu'en les attribuant à des erreurs accidentelles.

En sommes nous avons établi notre tableau en prenant comme appareil de mesure la Seine elle-même, en opérant en vraie grandeur. Nous avons profité du fait que dans le bief de Suresnes la Seine présente un étranglement au droit des Iles Saint-Louis et de la Cité et que la différence de niveau entre l'amont et l'aval des îles est très sensible à l'arrivée de la moindre crue ou à la propagation du moindre rabais.

C'est un peu comme un jaugeage par Venturi.

Nous avons tenu à donner un compte rendu de ces études qui ont duré plus de 15 ans. Nous avons eu l'idée vers 1931 d'étudier les débits sur un modèle réduit de la traversée de Paris et à l'époque j'en avais fait part à la Commission scientifique de la Seine. Mais l'énormité de la dépense (une douzaine de millions maintenant) nous a fait reculer.

Nous croyons avoir résolu le problème à moindre frais. En outre, nous avons maintenant des nombres précis à Meaux et à Vives-Eaux. Avec les résultats dont nous disposons maintenant, nous allons pouvoir nous livrer à des calculs statistiques et cela sur des bases sûres.

Je n'ai pas pu m'empêcher de trouver critiquables certaines études qui ont été faites pour la Marne et la Seine à partir de données erronées. Ces études devront être recommencées sur les données précises dont nous disposons maintenant.

Nos projets sont en effet les suivants :

Retrouver les débits journaliers depuis 1926. Il est impossible de remonter plus haut avec les données actuelles car le lit de la Seine a été trop modifié de 1920 à 1932 pour qu'il soit possible de tenir compte des années antérieures à 1926.

Nos résultats seront applicables tant que des nouveaux dragages importants n'aient pas été faits ou tant que le bras de la Monnaie n'aura pas été élargi, si on se livre à ces grands travaux dont il est question, il faudra tout recommencer.

En terminant, je tiens à dire que ce qui m'a poussé à ces travaux c'est une remarque que m'a faite M. BARILLON attirant mon attention sur le fait que la Seine était un fleuve où l'oeuvre de l'homme avait pris une telle importance que l'on ne pouvait l'étudier comme un torrent dans la nature sauvage.

Si Paris est comme Lutèce toujours au fond d'une cuvette avec un exutoire unique, les modifications survenues au cours des âges sont telles qu'on ne peut rien tirer des hauteurs d'eau survenues il y a deux siècles par exemple tellement le lit n'est plus le même. Ici l'influence de l'homme est plus forte que les effets normaux de la nature.

signé: B.GASPARD

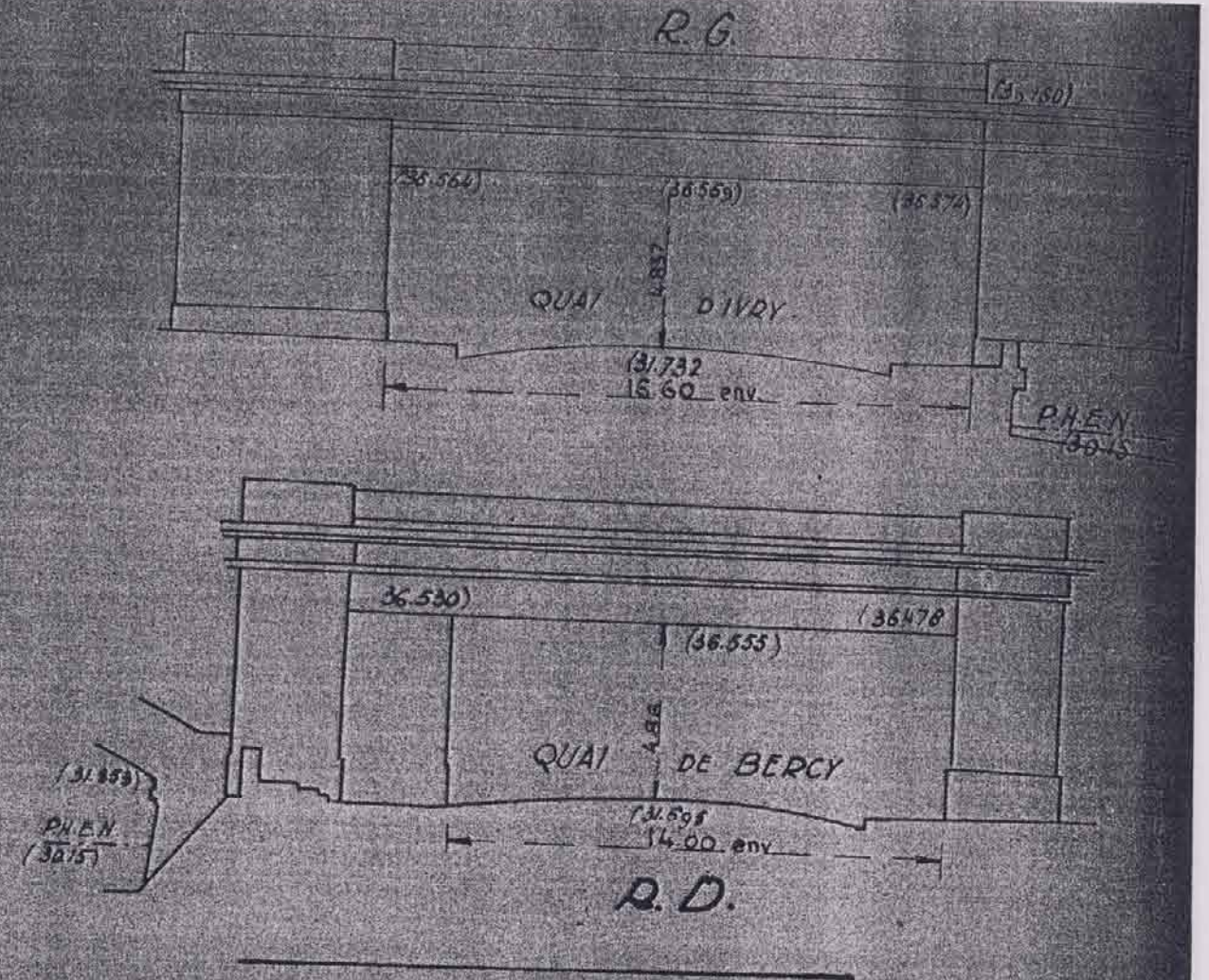
INSTITUTION INTERDEPARTEMENTALE
des BARRAGES RESERVOIRS
du BASSIN de la SEINE
8, rue Villot - 75012 PARIS

PONTS DE PARIS

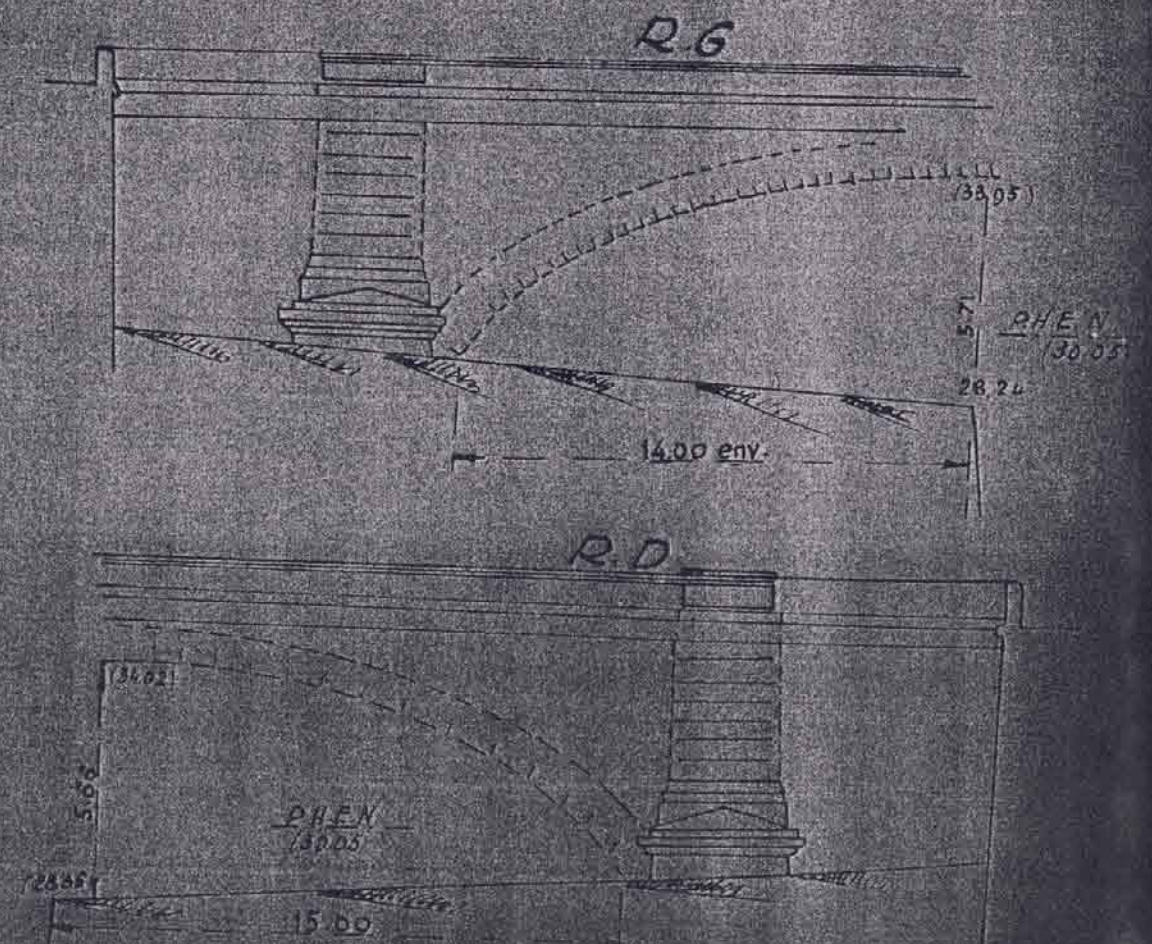
CARACTERISTIQUES

DES PASSAGES SOUS ARCHES DE
RIVES

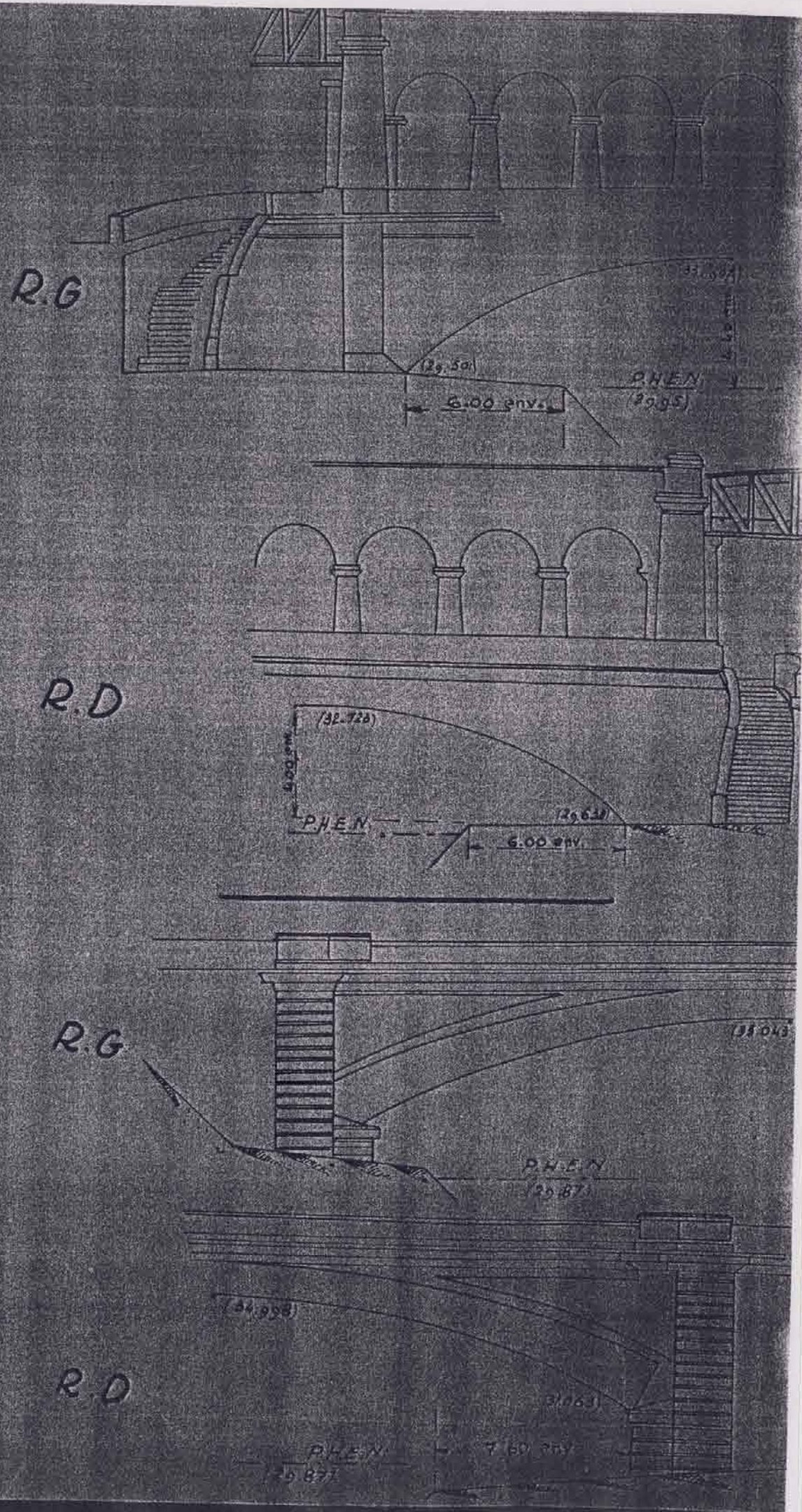
PONT NATIONAL



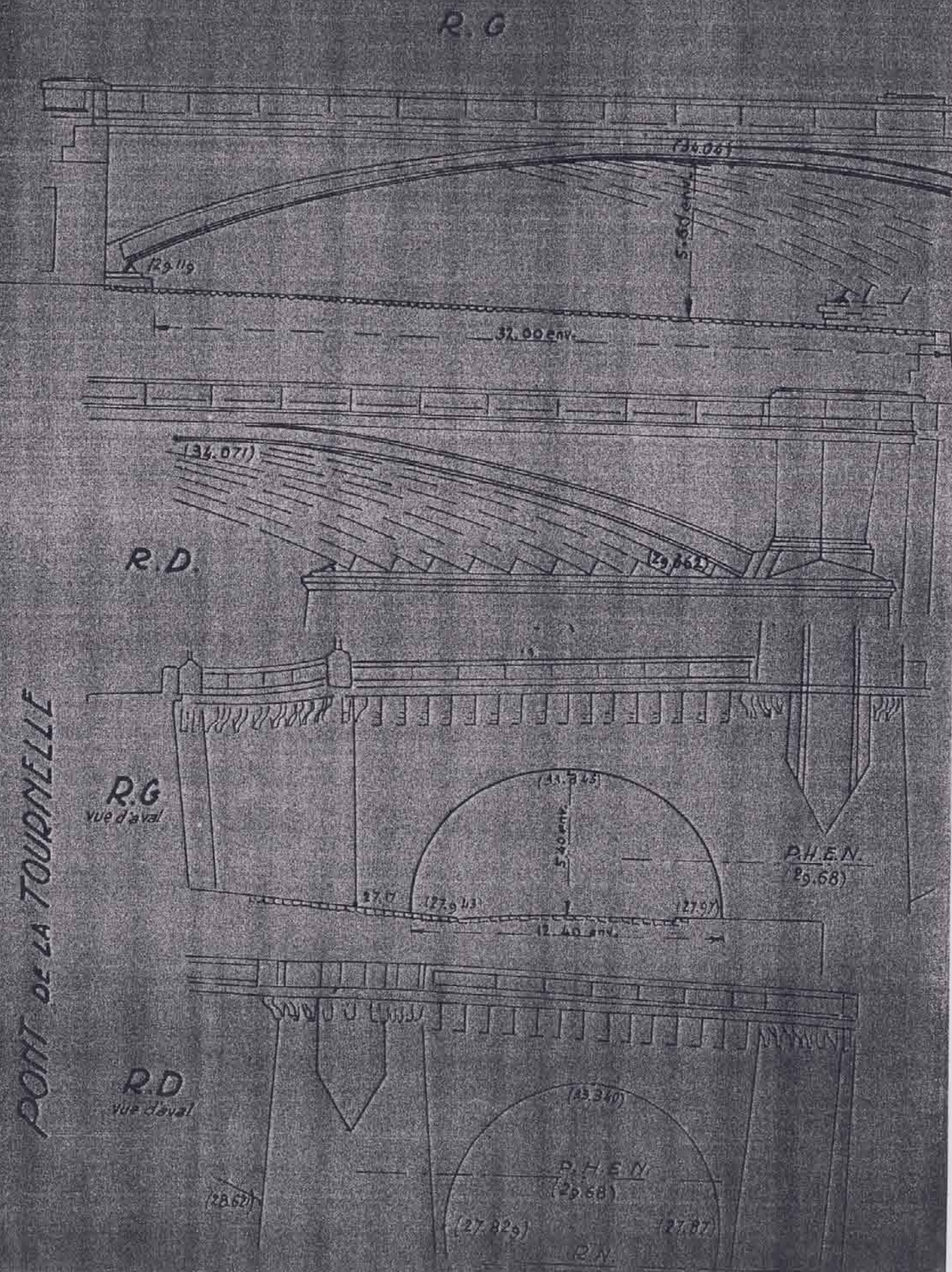
PONT DE TOLBIAC



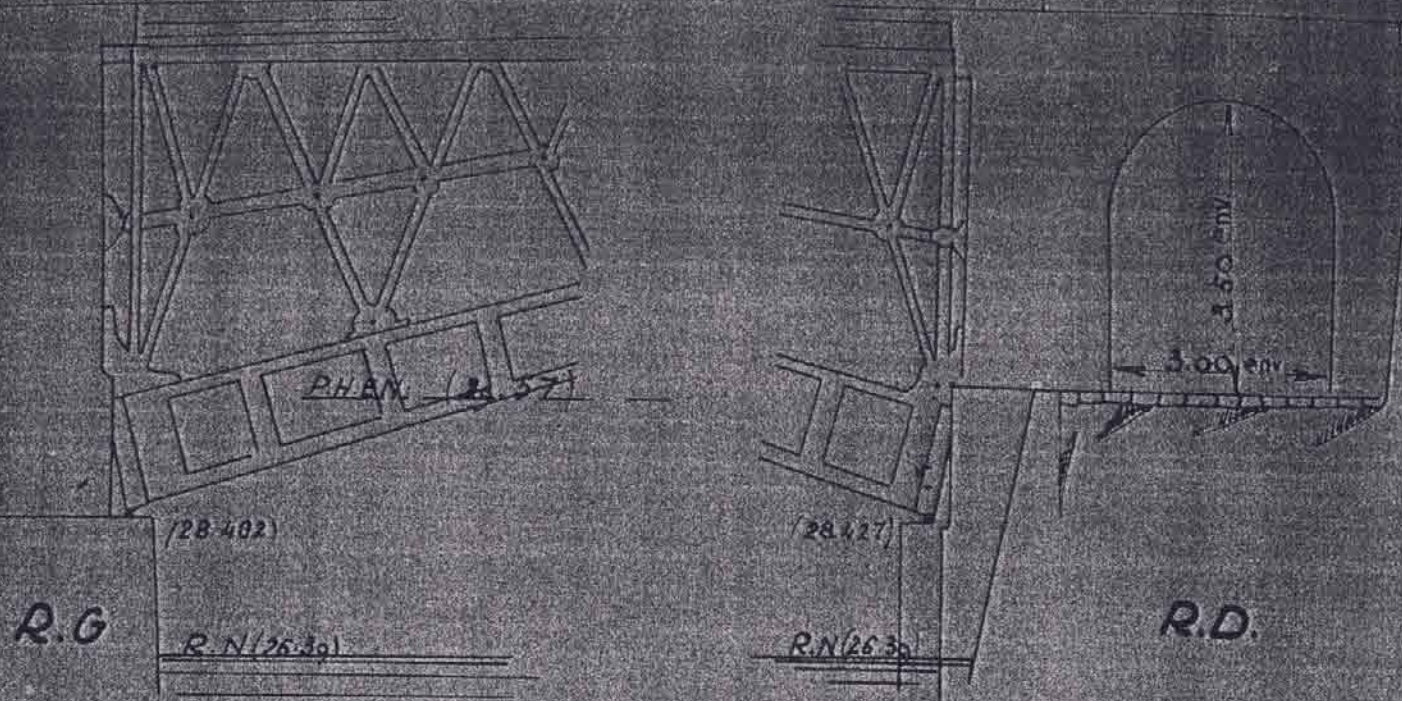
PONT DE BERCY
PONT DE AUSTERLITZ



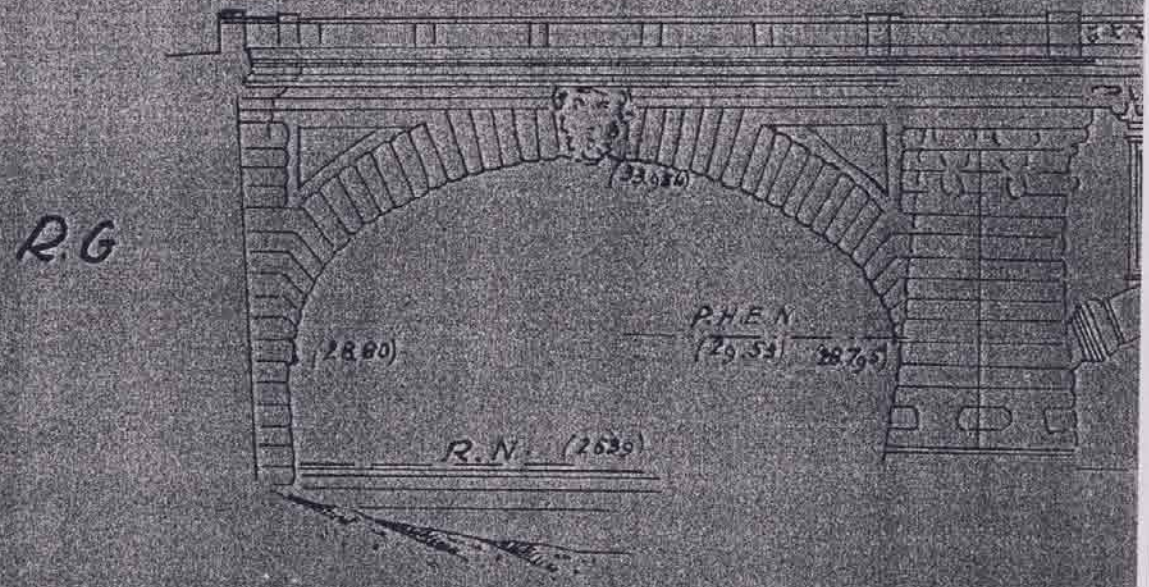
PONT SULLY



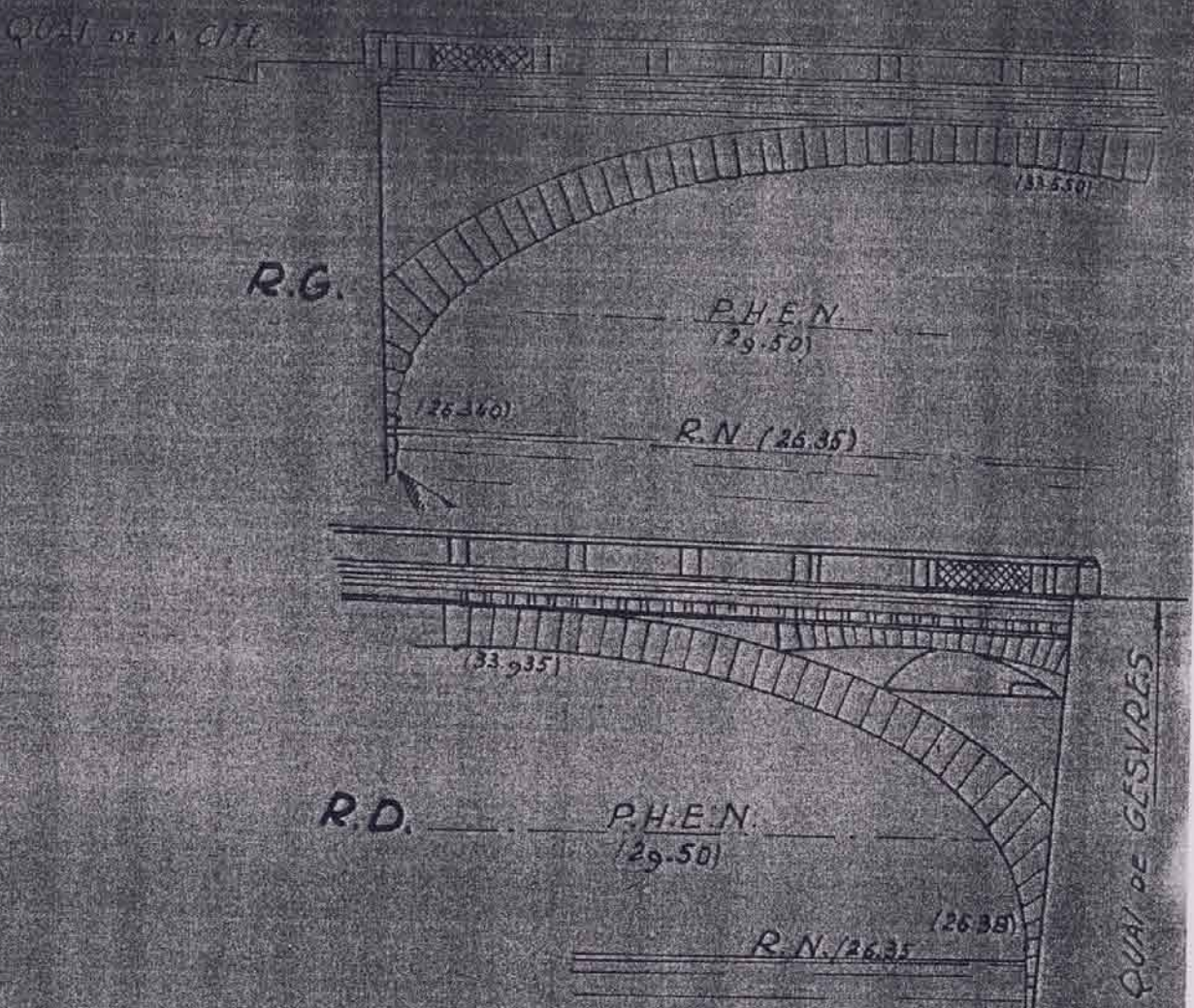
PONT D'ARCOLE



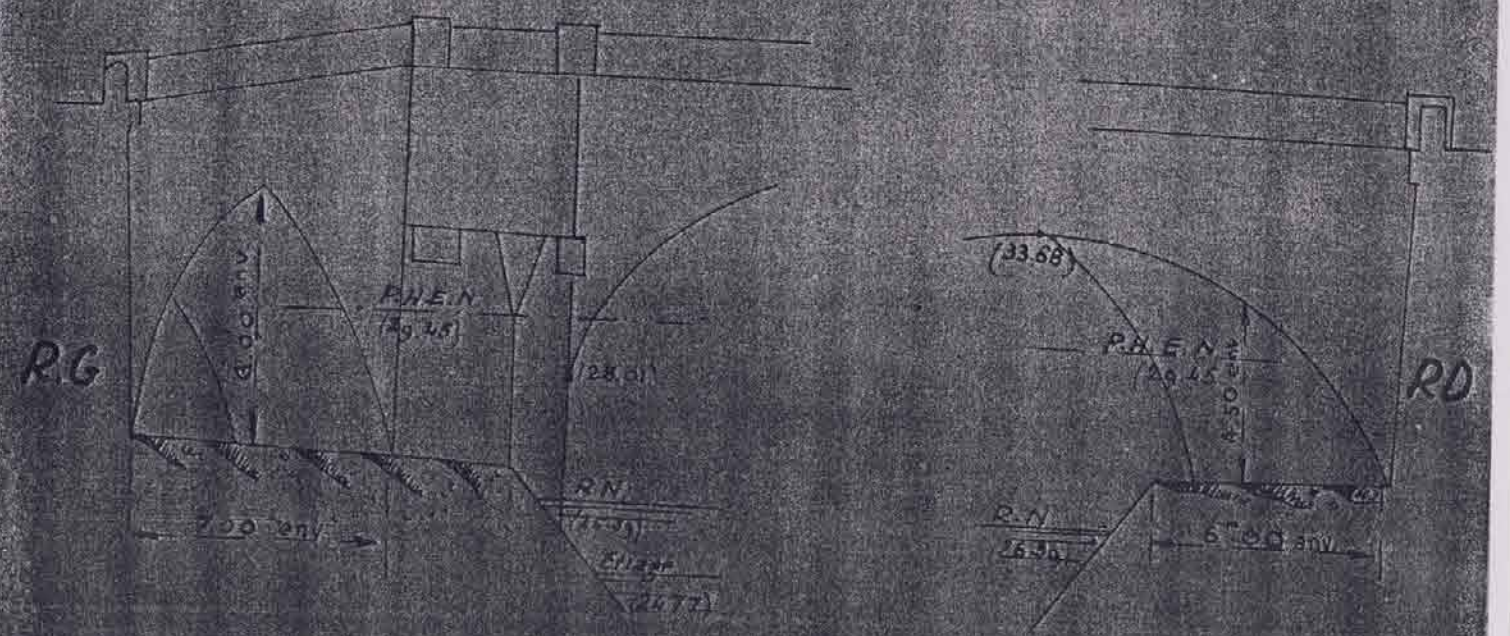
PONT NOTRE DAME



PONT AU CHANGE

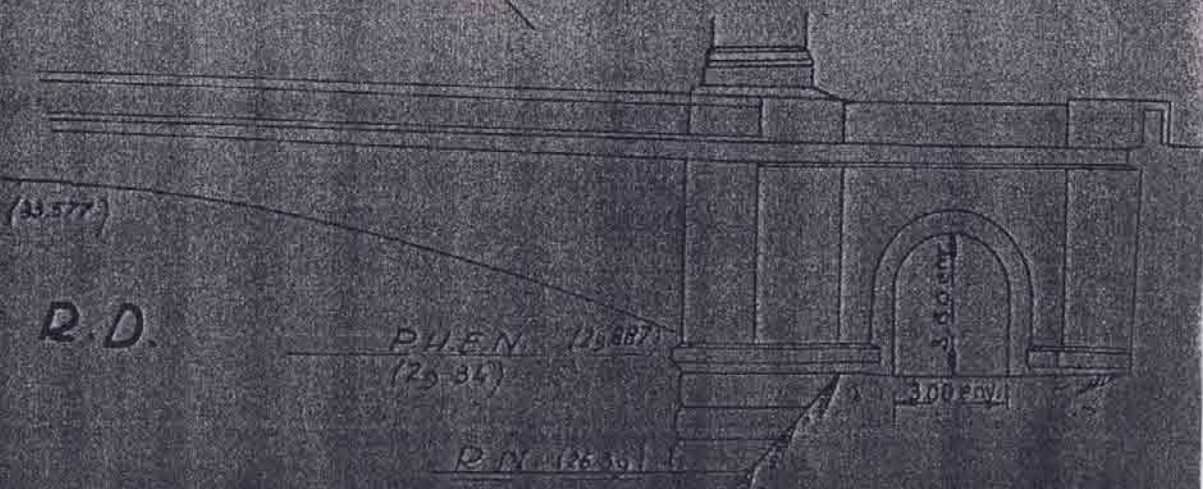
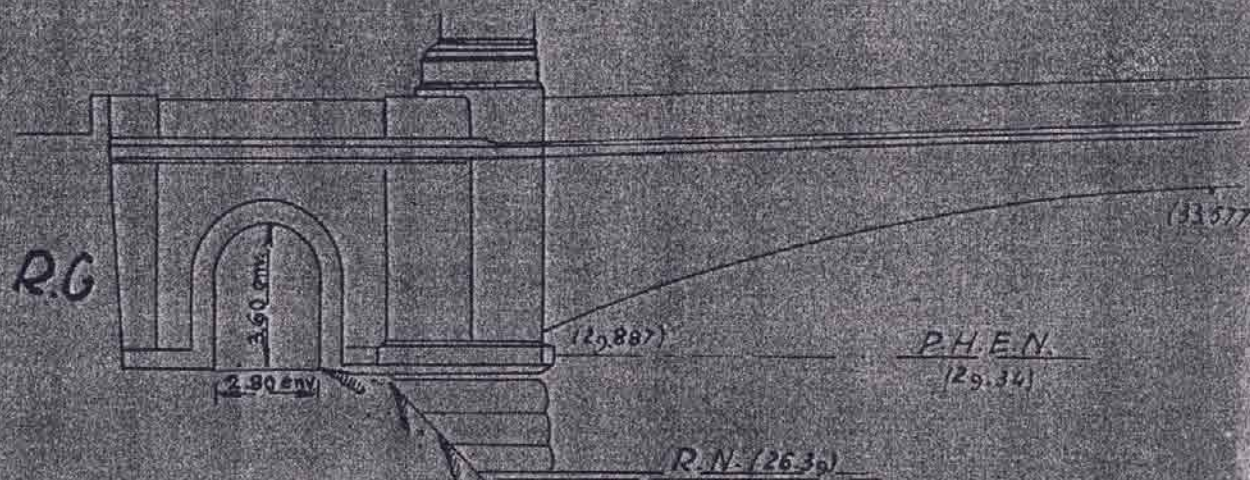
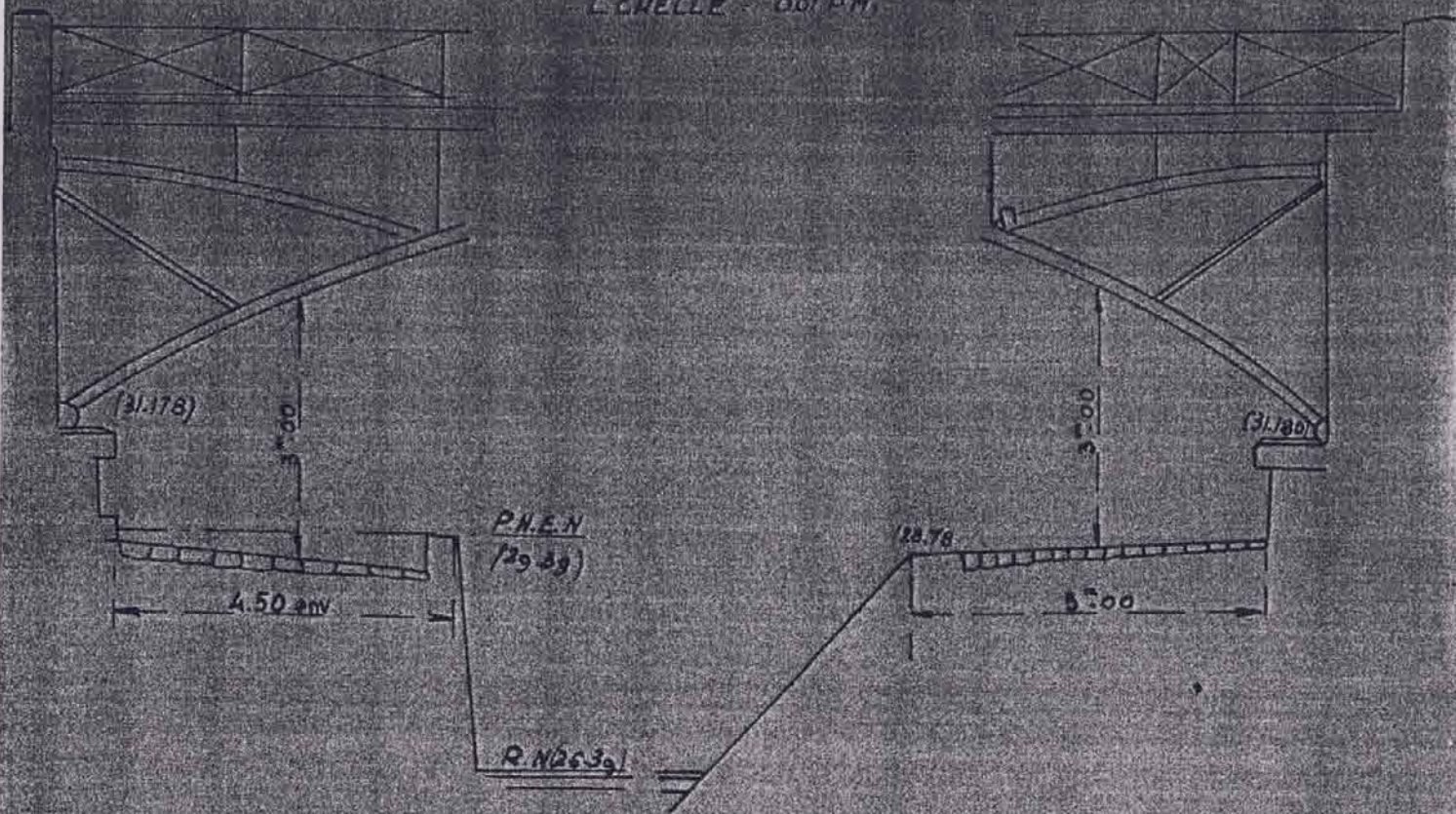


PONT NEUF



PONT DES ARTS

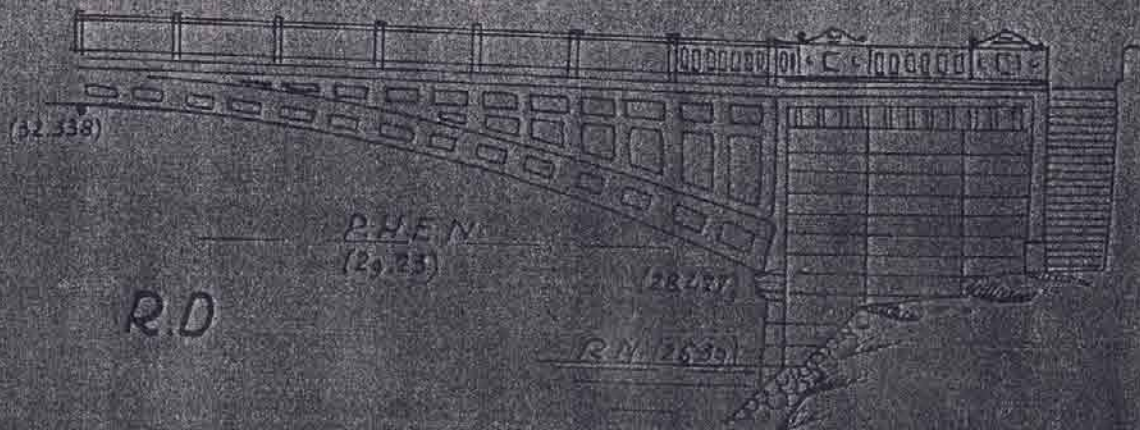
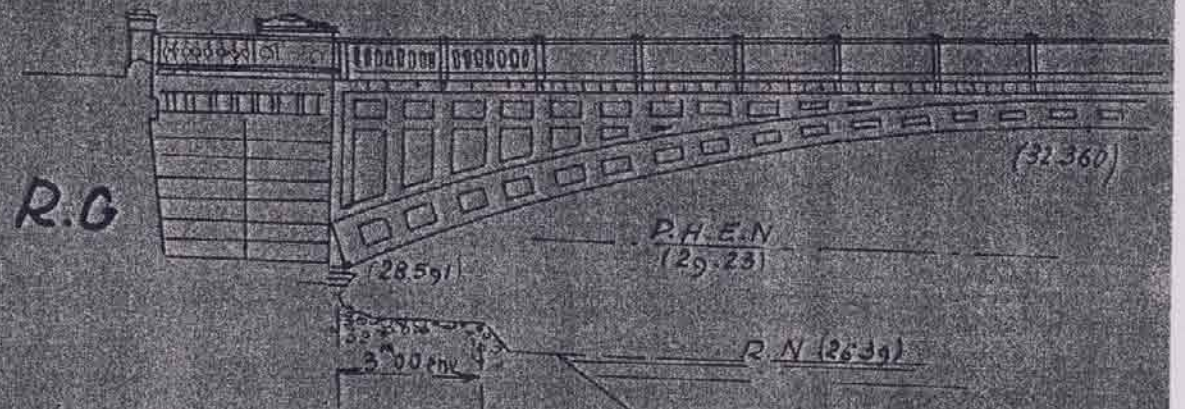
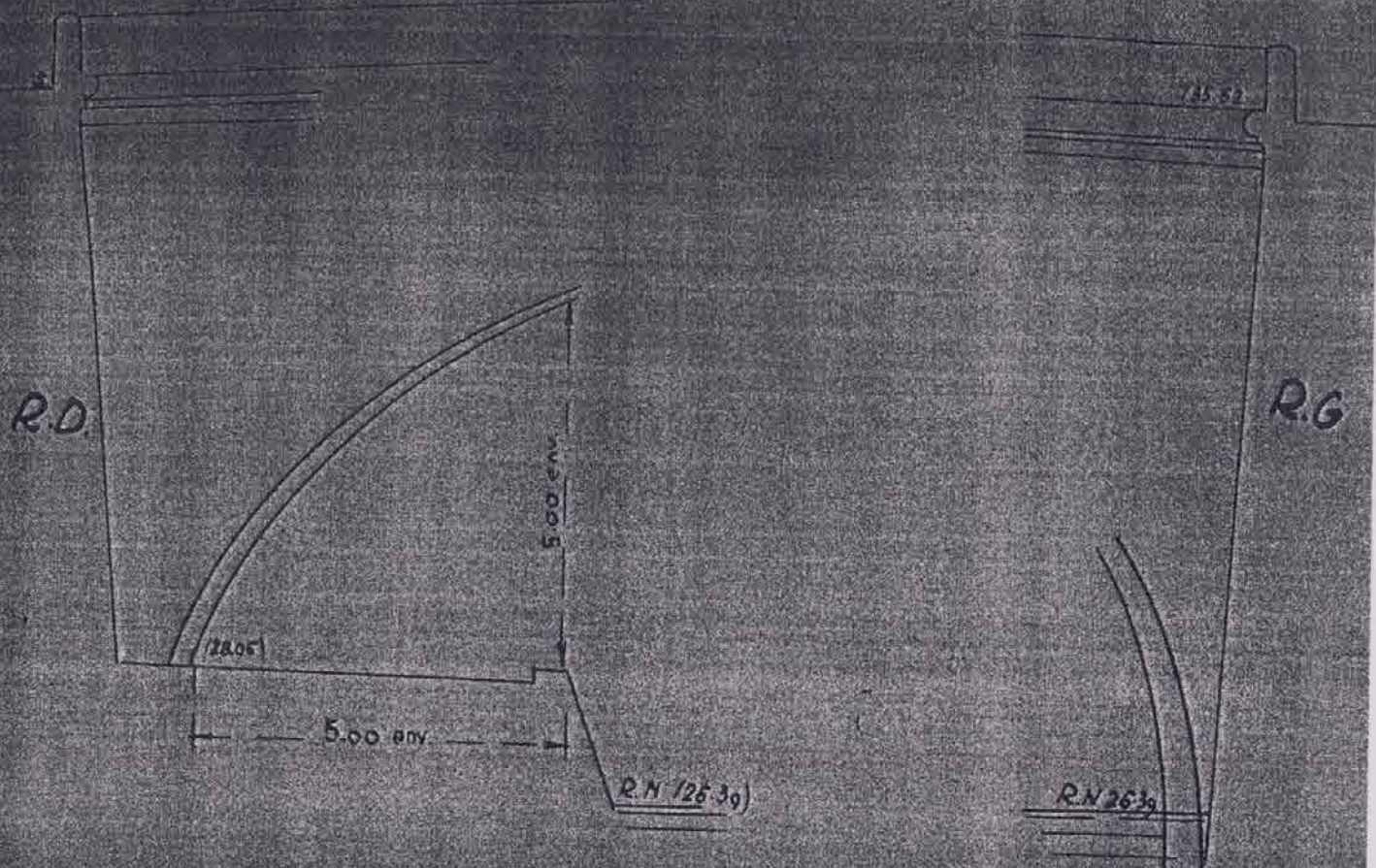
ÉCHELLE 0.01 PM



PONT DU CARROUSEL

PONT ROYAL

ÉCHELLE 0.01 PM



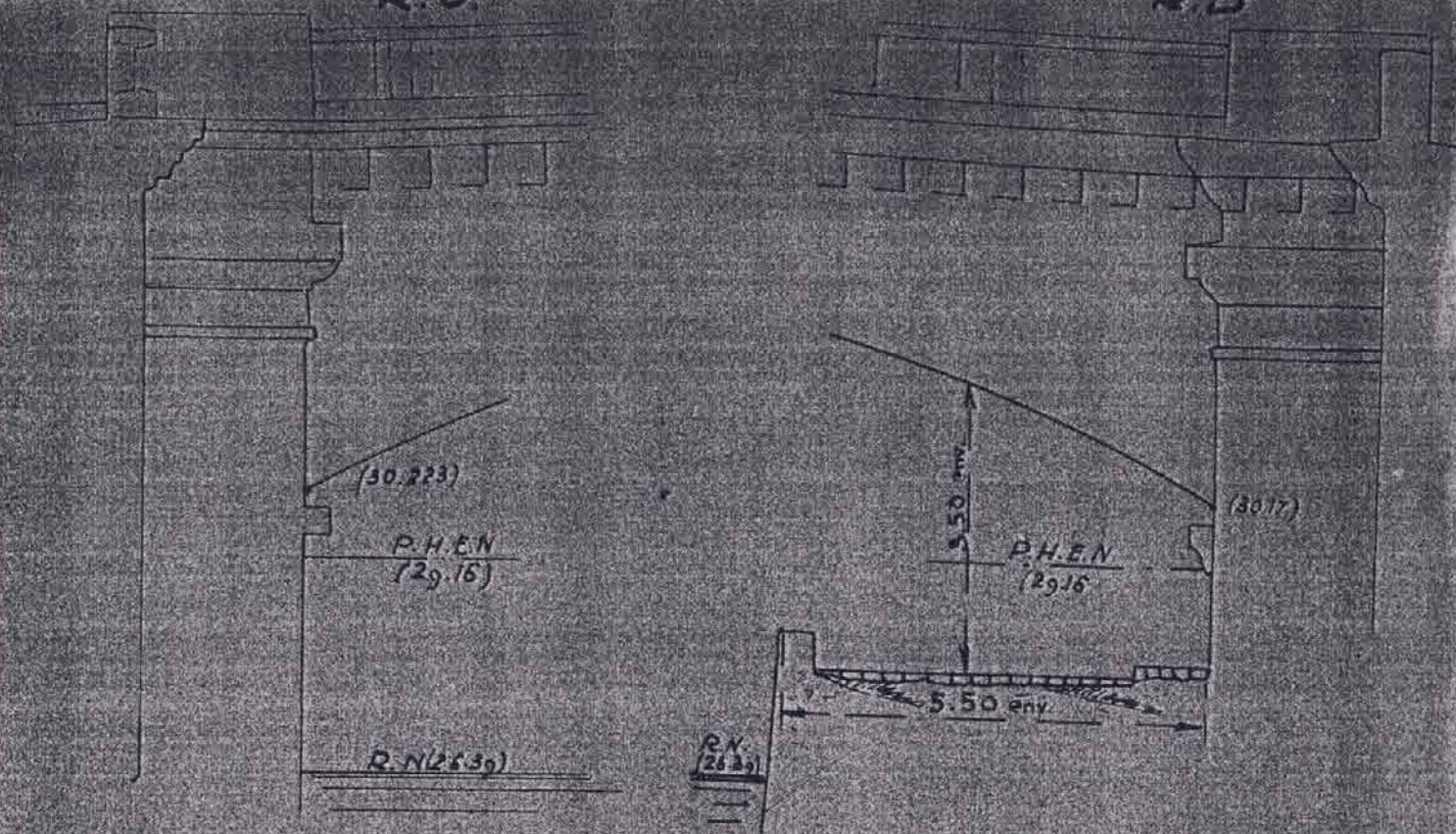
PONT DE SOLFERINO

PONT DE LA CONCORDE

ECH. 0.01 p.m.

R.G.

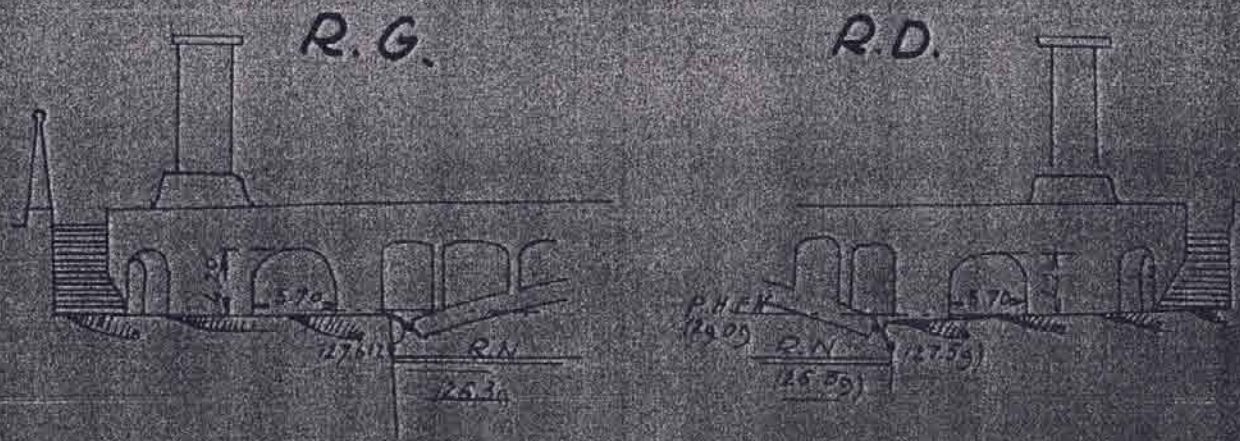
R.D.



PONT ALEXANDRE III

R.G.

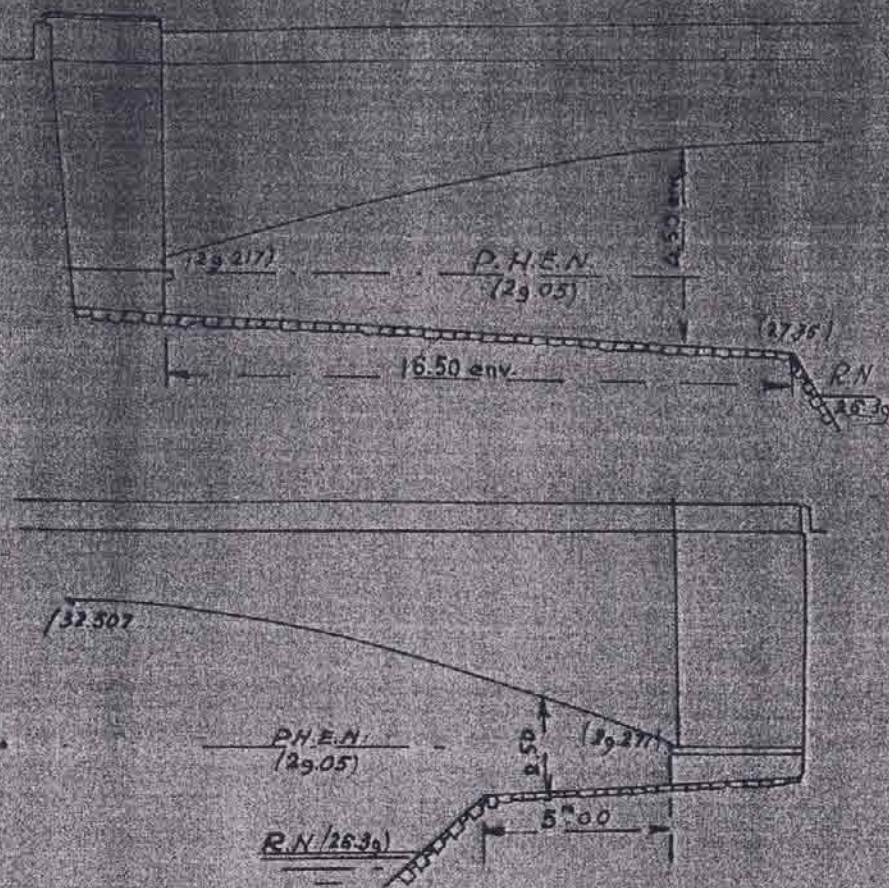
R.D.



PONT DES INVALIDES

R.G.

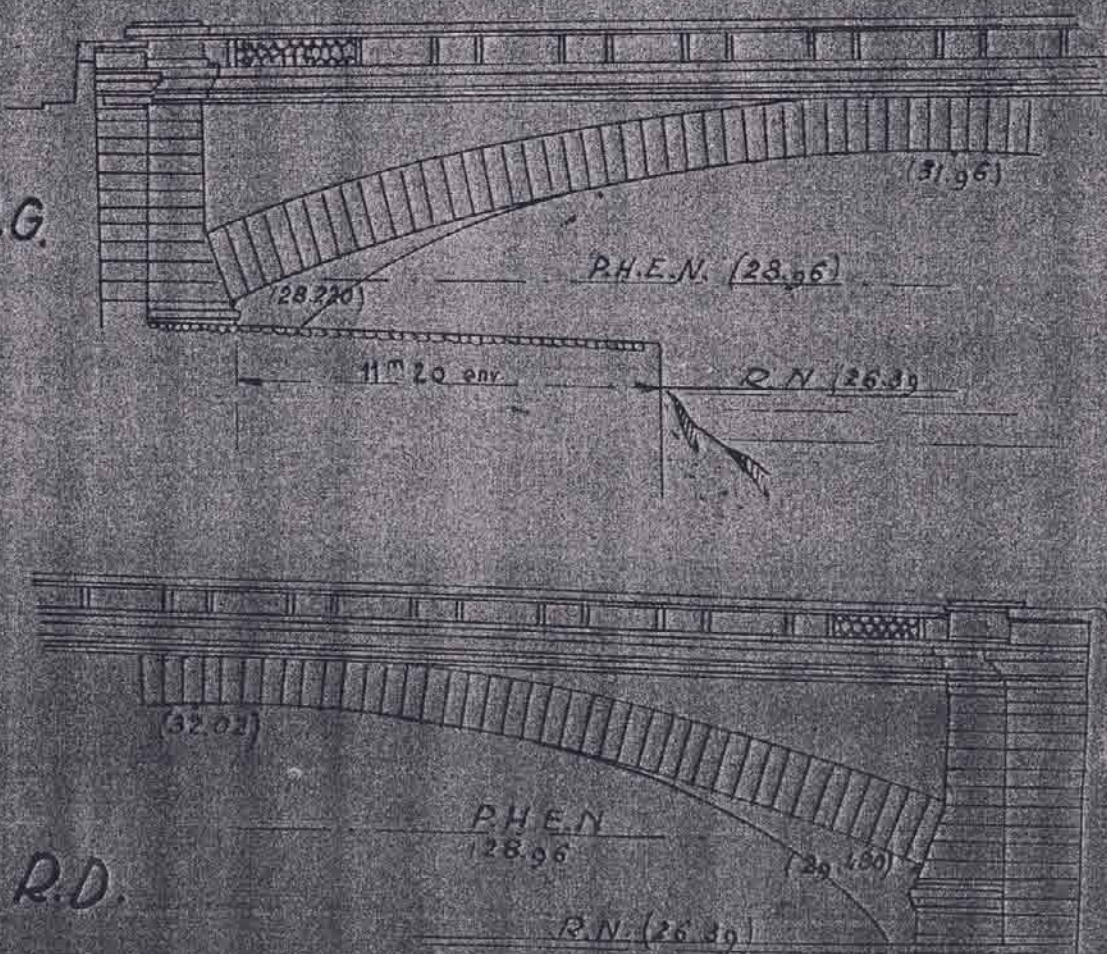
R.D.



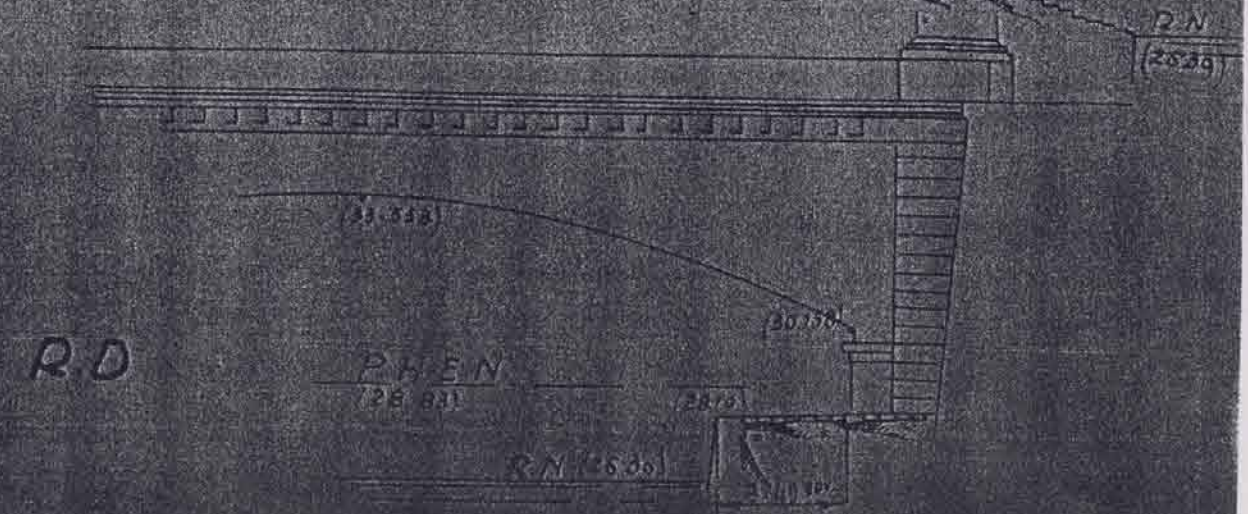
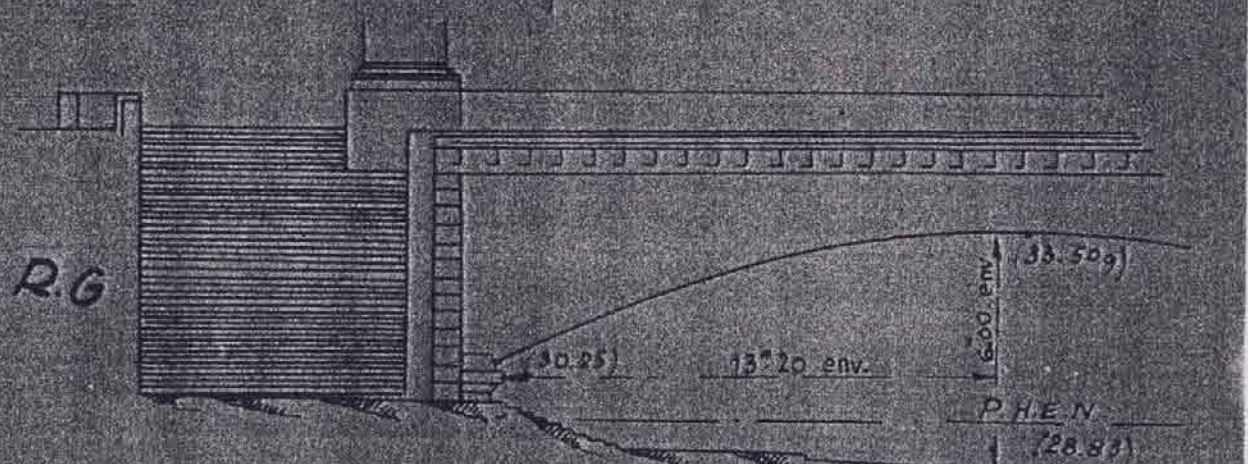
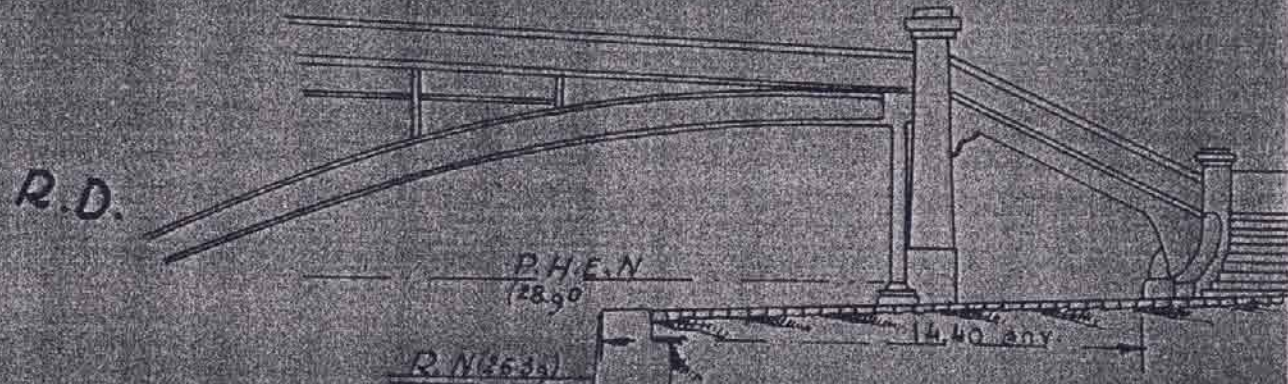
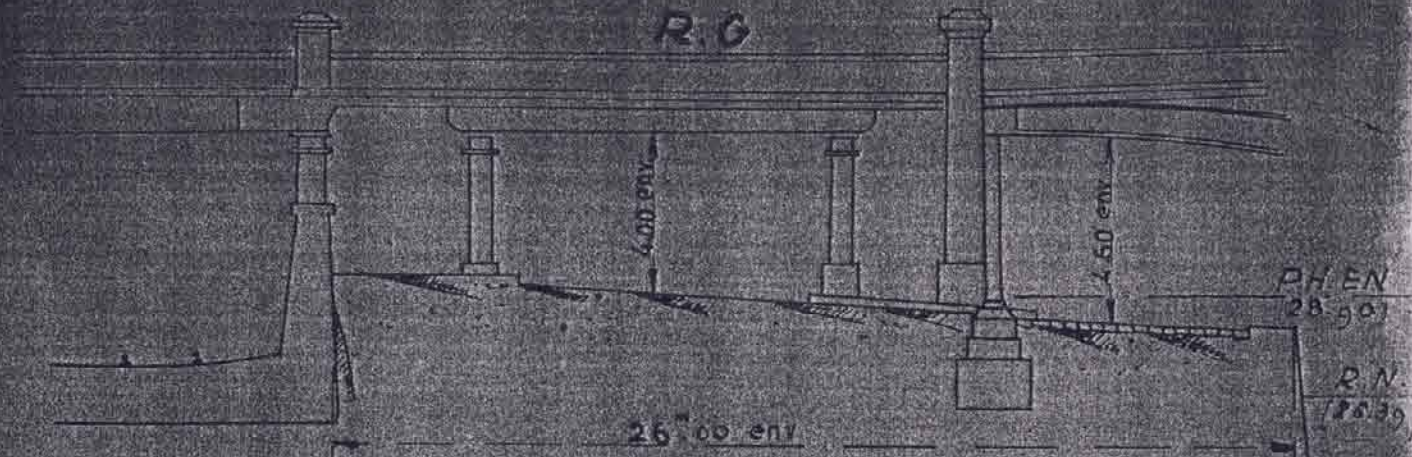
PONT DE L'ALMA

R.G.

R.D.



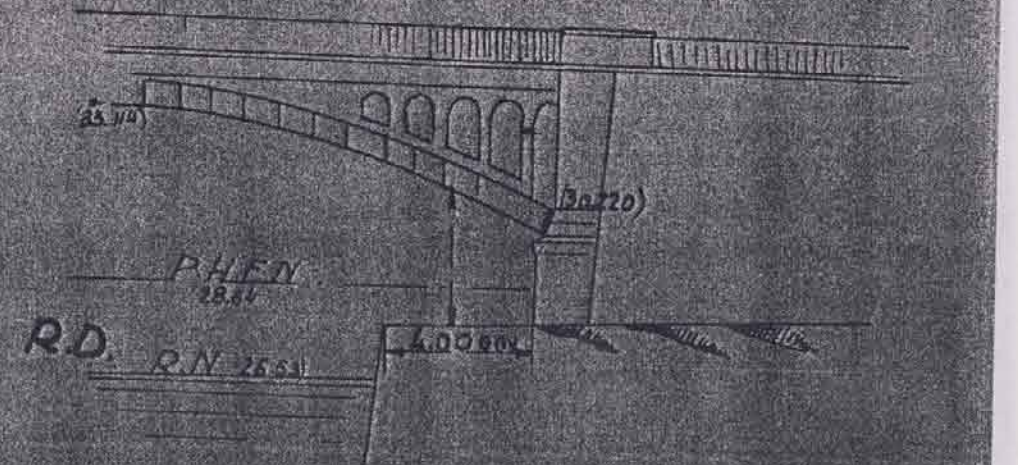
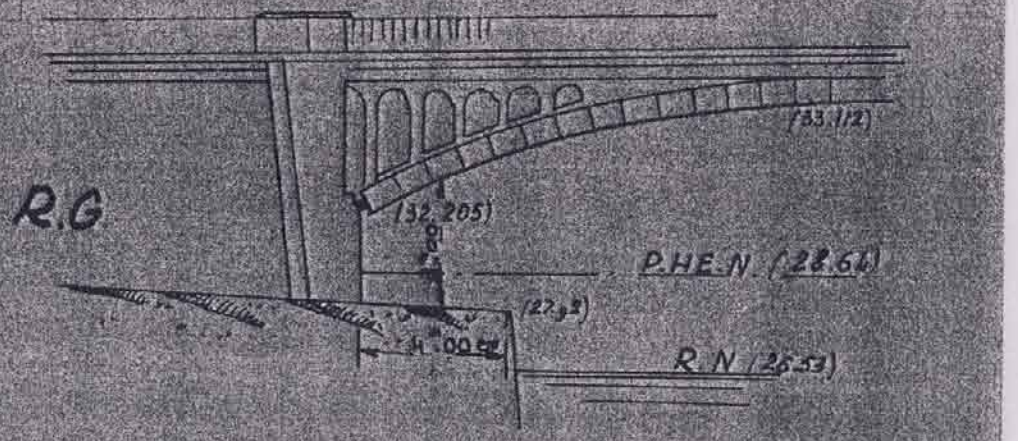
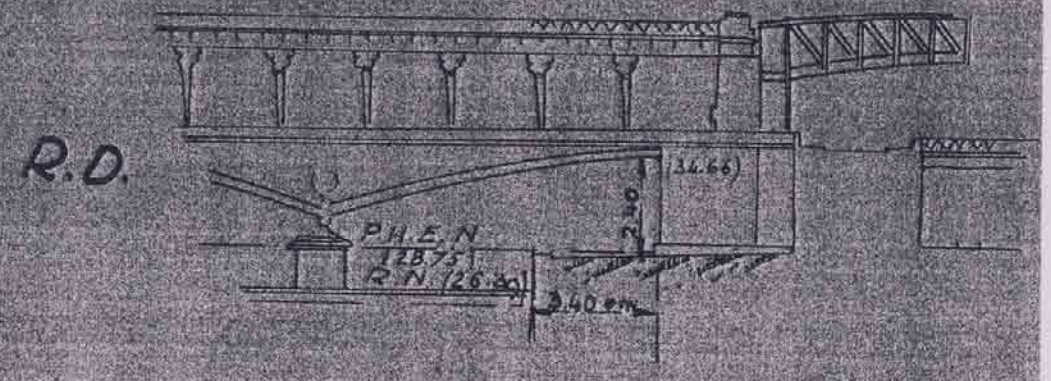
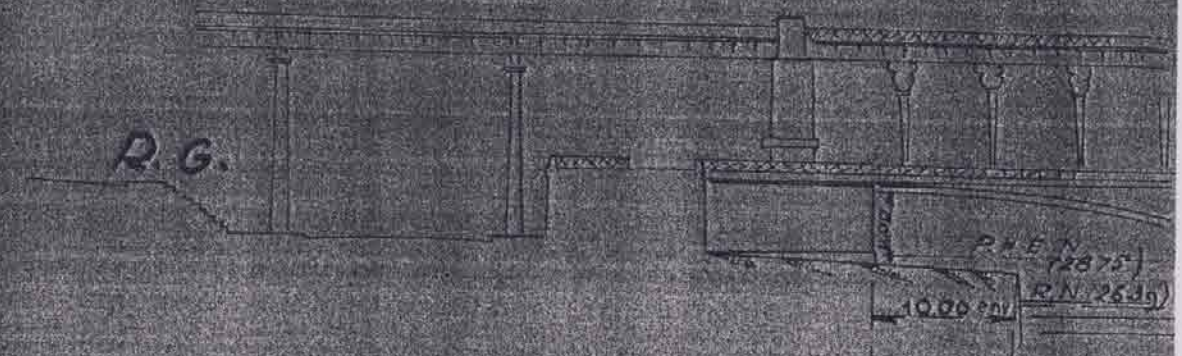
PASSERELLE DEBILLY



PONT D'ICHA

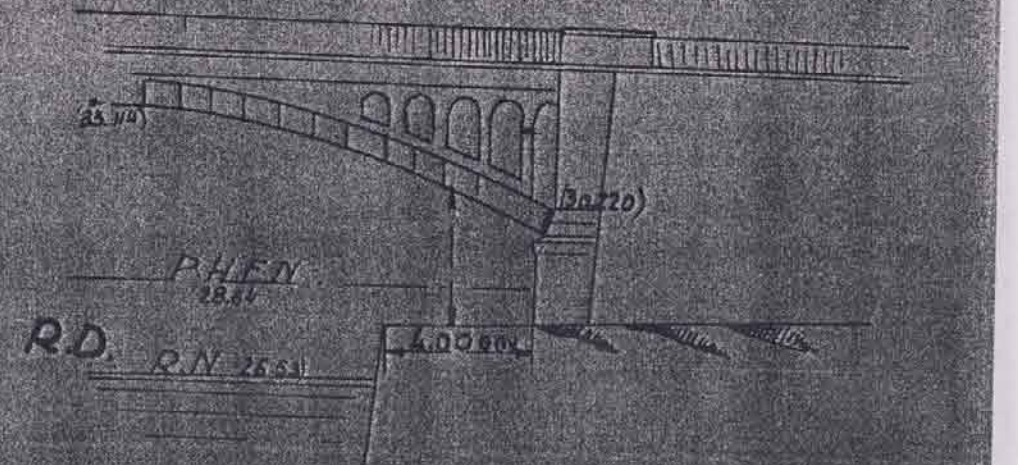
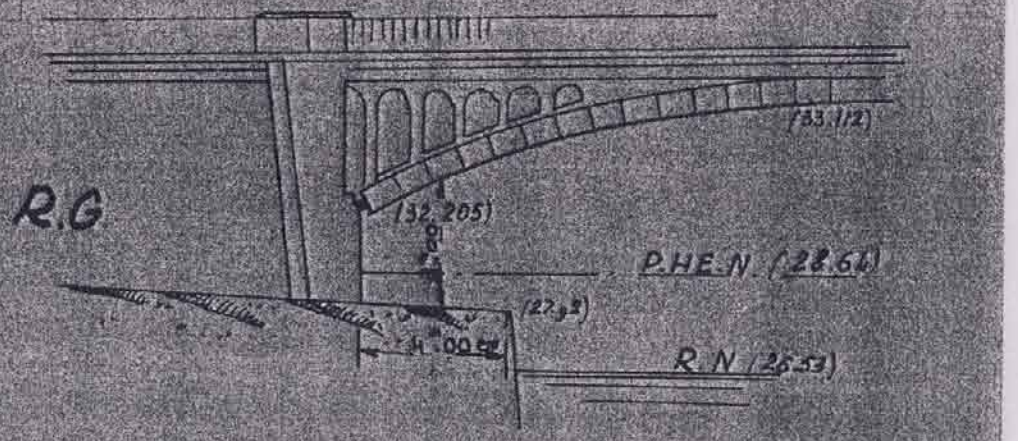
PONT DE PASSY

ECHELLE 0.002 p.m



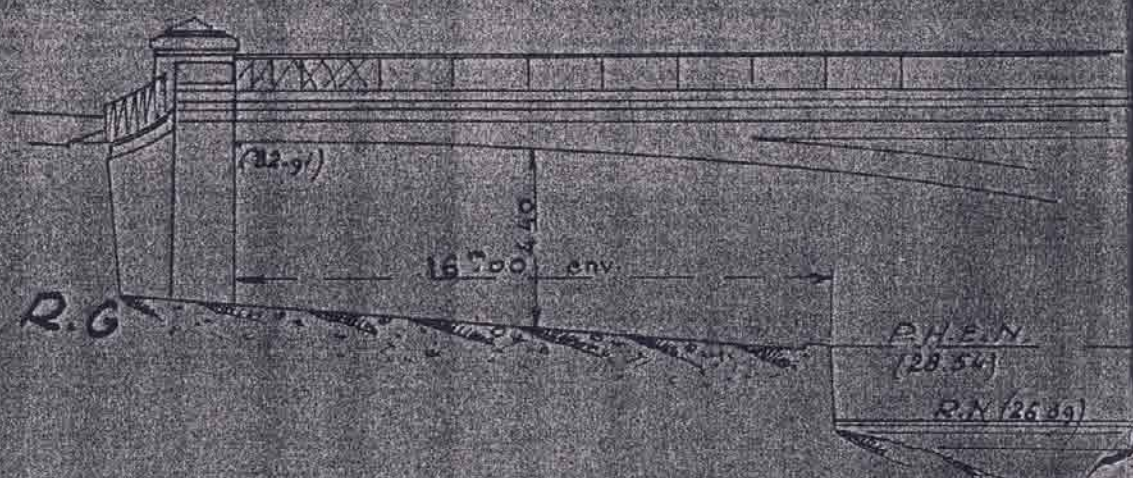
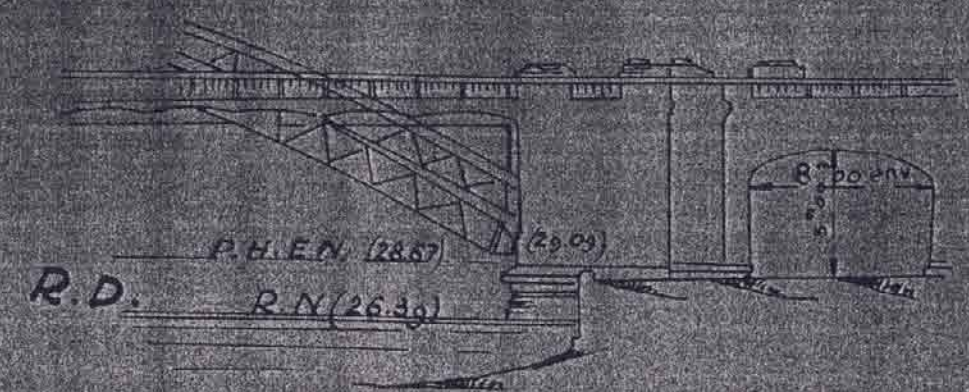
PONT DE GRENNELLE

ECHELLE 0.005 p.m



PONT DE GRENELLE
(S.N.C.F.)

Echelle 0.000 P.M.



PONT MIRABEAU

PONT VIADUC D'AUTEUIL

Echelle 0.002 P.M.

