
ONG ONADEL

Zone STIN - BP : 12 683 NIAMEY-NIGER

onadelniger@gmail.com

mobile : +227 93 30 18 18 / +227 95 30 18 18 / +227 96 57 45 47

**ETUDE SUR LES EAUX DE RUISSELLEMENT A INGALL
RAPPORT FINAL**



Mars 2019

Table des matières

INTRODUCTION	4
JUSTIFICATION	4
OBJECTIFS et RÉSULTATS ATTENDUS	5
PRESENTATION GENERALE	5
→ Le kory	6
→ Les mares	7
ÉTUDE HYDROLOGIQUE	8
→ Caractéristiques des crues	8
→ Calcul des apports du bassin versant	9
× Caractéristiques du bassin	9
× Les précipitations	10
× Indice de pente global	10
× Coefficient de ruissellement décennal Kr_{10}	10
× Volume ruisselé décennal Vr_{10}	10
× Débits caractéristiques du bassin	10
ANALYSE DE LA SITUATION	12
→ Généralités sur les écoulements à Ingall	12
× Bassin Versant de la vallée d’Ingall	12
× La ville d’Ingall	14
→ Remplissage des Mares	15
× Mare Loungoussou	15
× Mare Akal n’Goussou, Tassala n’Goussou	17
× Mares Bakoye n’Goussou et Kountché n’Goussou	18
× Estimation des volumes des mares	19
→ Circuit d’évacuation des eaux de ruissellement	19
× Rue drainantes principales	19
× Rues drainantes secondaires	19
PROPOSITION D’AMÉNAGEMENT	21
→ Programme principal	21
→ Comblement des mares	22
× La mare Longoussou	22
× Mare Akalal n’Goussou et Tassala n’Goussou	22
× Remblaiement des autres mares	23
→ Construction des rues pavées sur les rues principales	24
→ Construction des rues en perrés maçonnés sur les ruelles secondaires	24
→ OPTION	25
→ Plantation d’arbre	26
ESTIMATION DES COUT	28
→ Comblement des mares	28

→ Digue en gabion pour protection des mares.....	28
→ Rues Pavées.....	28
→ Coût des rues en perrés maçonnés	28
→ Caniveau et avaloir	29
→ Plantation d'arbre.....	29
→ Récapitulatif des coûts.....	29
PROGRAMME D'AMÉNAGEMENT	30
Mise en œuvre.....	31
→ Durée des travaux.....	31
CONCLUSION	31
ANNEXES	32

INTRODUCTION

Avec le changement climatique on assiste à des phénomènes d'inondation de plus en plus récurrents au Niger. Ces phénomènes engendrent d'énormes dégâts matériels et humains. Cette situation est non seulement la conséquence de pluies intenses, mais aussi du développement anarchique des villes (absence de viabilisation des lotissements, occupation anarchique des espaces, absence ou inefficacité des services de voirie, etc.).

Le phénomène affecte depuis quelques années la région nord du pays, zone désertique qui n'enregistre d'ordinaire que de très faibles quantités de pluies. La ville d'Ingall en est une parfaite illustration avec au moins quatre années d'inondations enregistrées au cours de cette dernière décennie. Ce phénomène d'inondation contribue au remplissage des mares dont la gestion devient problématique pour la ville et est source d'une insalubrité sanitaire pour les populations.

C'est afin d'aider la Commune d'Ingall à lutter contre les dégâts des inondations et l'insalubrité lié aux mares que l'Association Chlorophylle apporte son appui à la collectivité, à travers la réalisation d'une étude d'aide à la décision visant à définir la nature des travaux et actions à réaliser en vue d'améliorer la problématique des mares et des inondations dans le cadre de la gestion des eaux de ruissellements et des inondations pour la ville d'Ingall.

La première phase de cette étude consistera en une approche hydrologique sur la base des données disponibles. La deuxième phase de l'étude constituera au relevé topographique du Kory et des principales voiries pour aborder la dynamique de remplissage des mares et d'évacuation des eaux de ruissellements au sein de la ville. La troisième phase constituera à la présentation des résultats et aux compléments de relevés topographiques des rues drainantes.

Ce travail a été réalisé par Nassanou Garba sous la direction de Mahaman Adamou.

JUSTIFICATION

L'association Chlorophylle et ses partenaires travaillent depuis 2003 sur l'assainissement et la salubrité de la ville d'Ingall. Latrines, fosses septiques, dépotoirs permettent déjà une amélioration du cadre de vie des habitants, mais la question du comblement des mares reste difficile car demandant des moyens importants.

Ces mares sont la cause d'une insalubrité causant et entretenant toutes sortes de maladies infectieuses, dont le paludisme. Par ailleurs, combler les mares peut s'avérer risqué, car certaines d'entre elles remplissent un rôle non négligeable dans la gestion des eaux de ruissellements, en évitant notamment l'entrée des eaux dans la ville.

Il est donc nécessaire de connaître cette dynamique par la réalisation d'une étude précise sur les mares et les eaux de ruissellements, surtout que depuis quelques années, le grand Oued qui borde la ville déborde de son lit pour inonder le quartier sud. Ce phénomène est très nouveau (2008 et 2010) et l'étude doit permettre de mieux l'appréhender pour le limiter.

La ville d'Ingall possède en son sein 11 mares plus ou moins importantes, parmi lesquelles les plus importantes sont les suivantes : Longoussou Akalal n'Goussou, Tassala n'Goussou, Tako n'Goussou, Bakoye n'Goussou et Kountché n'Goussou.

OBJECTIFS et RÉSULTATS ATTENDUS

L'objectif général de cette étude est la définition d'un programme de travaux cohérent et global sur la gestion des eaux de ruissellement dans la ville d'Ingall.

Il s'agit spécifiquement :

- d'établir une carte topographique générale de la ville d'Ingall qui permette de comprendre le mécanisme de remplissage et d'évacuation des mares et les écoulements des Kory ;
- de faire une étude technique hydraulique pour définir des propositions d'aménagement des mares et des korys ;
- de proposer des travaux de réalisation de caniveaux, de pavage et de rechargement des rues, de comblement, etc.

Les résultats spécifiques attendus à l'issue de la présente étude sont :

- un rapport cartographique et topographique donnant le plan de la ville et le Kory avec des profils en long de l'axe du Kory et des principales rues drainantes ;
- un rapport hydrologique et hydraulique cartographié donnant les débits du Kory et le mécanisme de ruissellement des eaux de pluie et du Kory dans la ville ;
- une proposition d'aménagement et des travaux pour la gestion de ces eaux de ruissellement.

PRESENTATION GENERALE

In Gall est une commune rurale de la Préfecture d'Ingall de la Région d'Agadez. La ville est située à 125 km d'Agadez par l'ancienne piste et à 165 km par la route bitumée Tahoua - Agadez à laquelle elle est reliée par une bretelle de 45 km.

Le climat est de type saharo-sahélien avec de fortes variations annuelles. Les principales caractéristiques climatiques sont les suivantes :

- pluviométrie aléatoire de 30 à plus de 300 mm/an avec deux mois (juillet - août) recevant la majeure partie des pluies,
- températures moyennes :
 - saison froide (novembre à février) : minima 10°, maxima 30°C
 - saison chaude (avril à juin) : minima 35°, maxima 49°C
- vents réguliers avec tempêtes de sables et brumes sèches.

Ce climat saharo-sahélien, à fortes variations interannuelles, a pour l'homme les conséquences majeures suivantes :

- l'agriculture pluviale est impossible et la vie sédentaire est liée à l'agriculture irriguée d'oasis ou de « jardins »,
- l'élevage est extensif, nomade transhumant.

Les variations pluviométriques jouent un rôle déterminant sur l'état des pâturages et sur la production de l'agriculture irriguée qui est dépendante du niveau de la nappe phréatique.

In Gall est situé à l'extrémité Ouest de la falaise de Tiguidit sur un plateau désertique traversé par une vallée où apparaissent quelques formes dunaires. Le plateau, très bas et décomposé à In Gall, est constitué par les grès fluviaux du Tégama qui surmontent les argiles de l'Irhazer. Ces roches salines attirent les animaux de tout le pays qui viennent y faire leur « Cure salée » durant l'hivernage. La zone est aussi riche en arbres et animaux fossiles.

→ Le kory

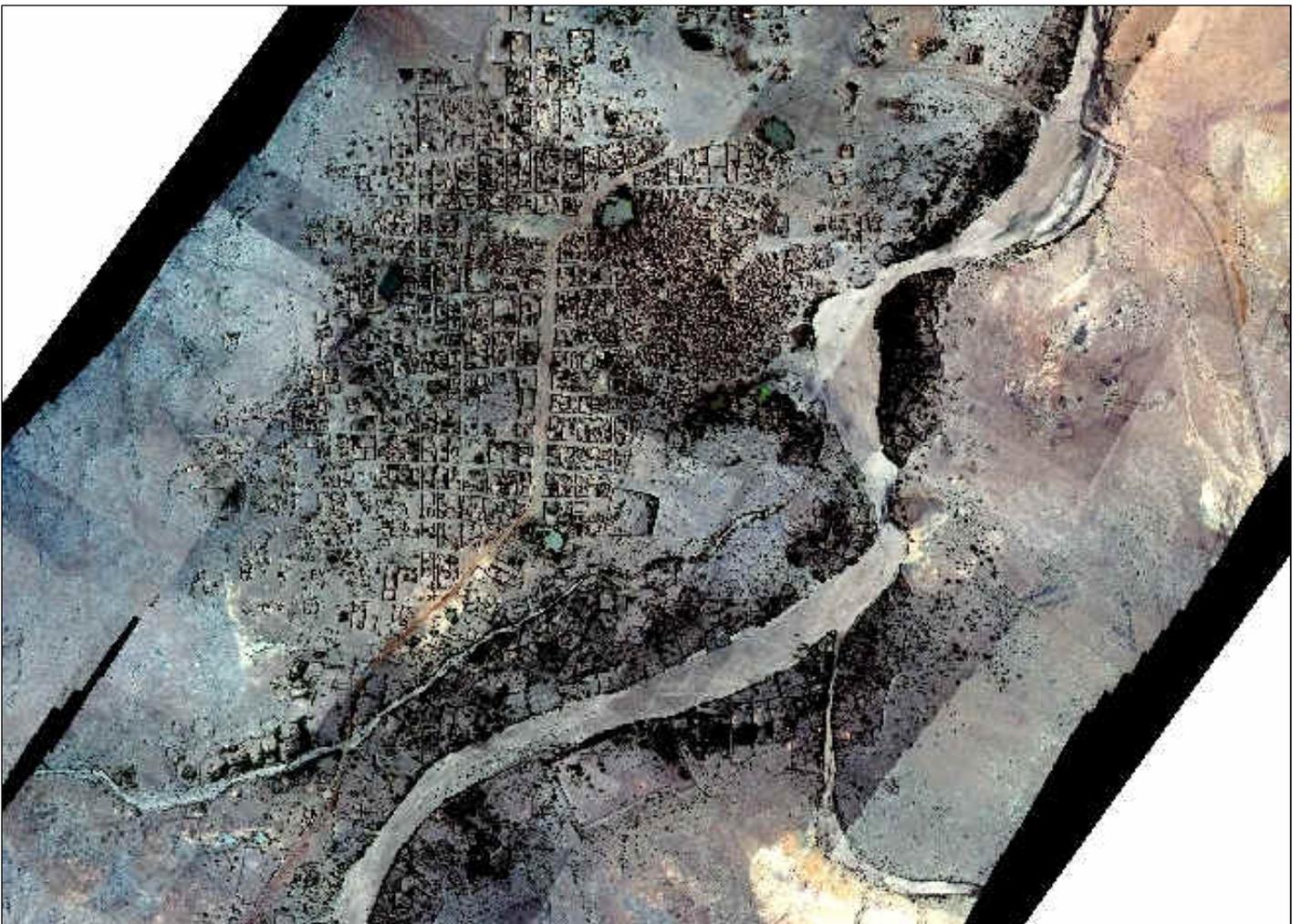
Venu des hauteurs gréseuses de l'ouest, le kory d'In Gall encaisse son lit dans une petite plaine alluviale composée de sables et limons épais de 2,5 à 10 m. Ce lit de sables blancs, grossiers ou fins, est de dimensions très variables, de 20 à 100 m et plus de largeur. La hauteur des berges varie de 0,5 à 2 ou 3 mètres. Enfin, les sables et limons de la plaine alluviale ont été localement remodelés en dunes aux formes lourdes qui s'avivent un peu autour des obstacles (rochers, arbres, bâtiments, haies).

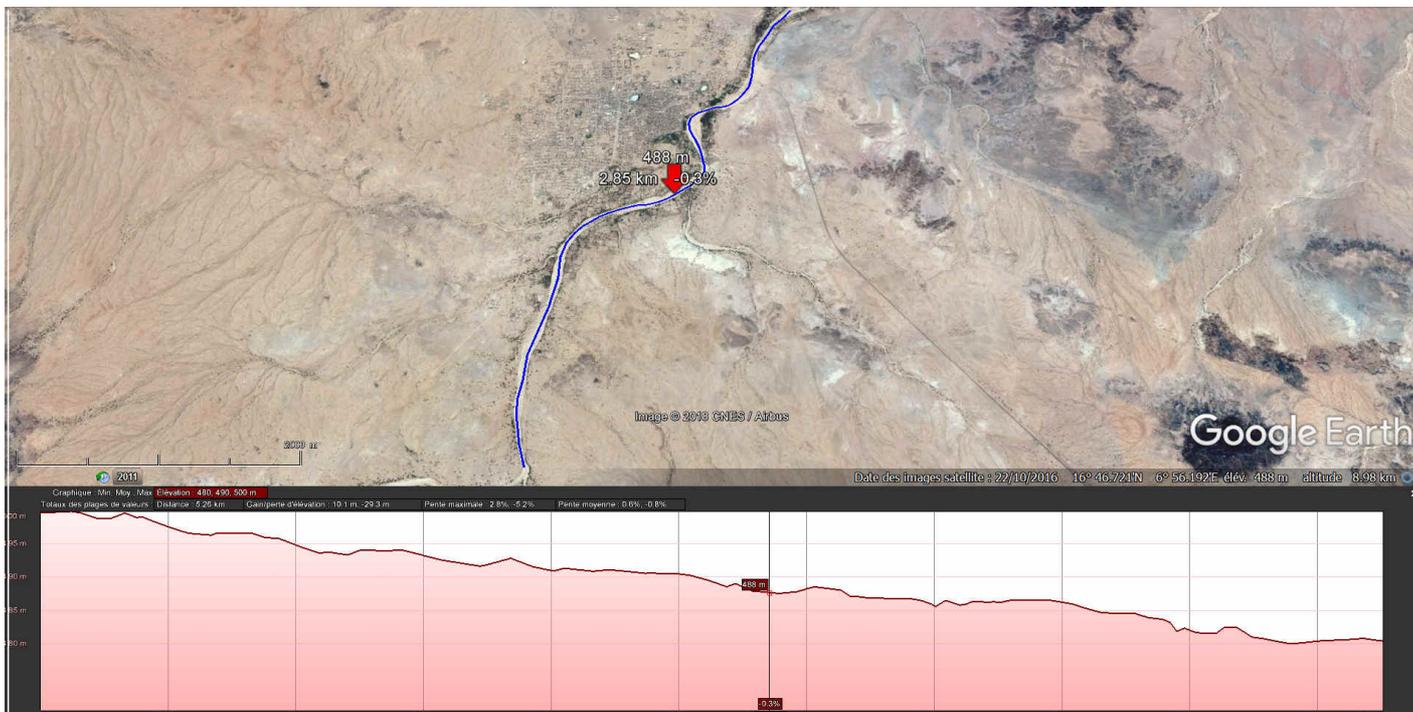
Le kory est l'axe de vie d'In Gall car c'est dans son lit et sa plaine alluviale qu'on trouve la nappe phréatique à 7 - 12 m de profondeur au-dessus des couches argileuses. L'alimentation de la nappe dépend des pluies sur le bassin versant peu important du kory. La disponibilité de l'eau est donc limitée et dépend fortement de la pluviométrie annuelle.

Le réseau de ruissellement des eaux pluviales de la ville d'In Gall est composée des ruelles, des kory et des mares. Ces mares constituent un réel problème de salubrité pour la ville entretenant ainsi plusieurs sortes de maladies infectieuses.

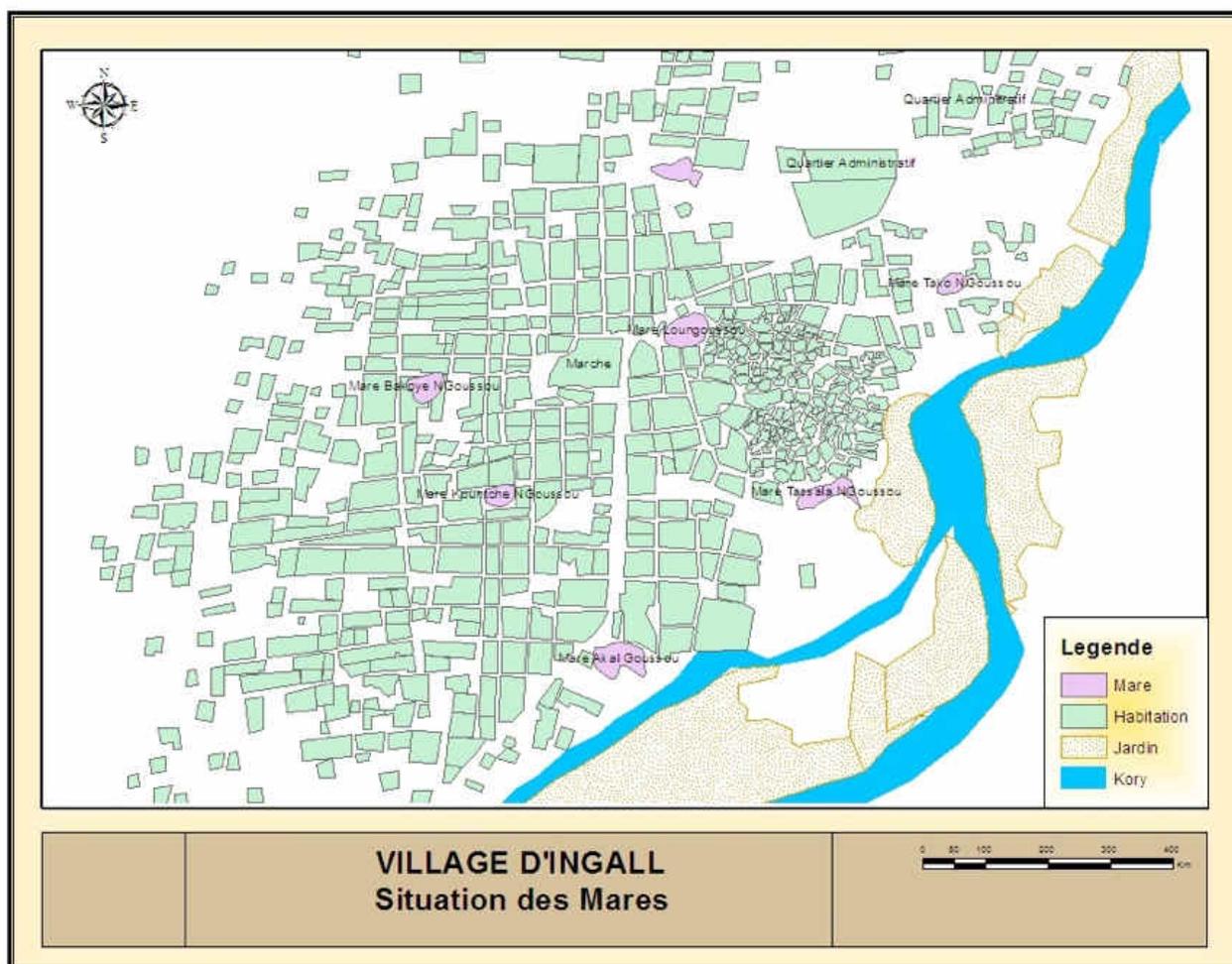
Ces dernières années des pluviométries en hausse et les crues exceptionnelles du Kory ont provoqué non seulement l'inondation des habitations mais aussi l'agrandissement de ces mares qui deviennent quasi permanentes.

Vue Aérienne Ville et Kory d'In Gall
Photo : Étude Prozopas 2000





→ Les mares



ÉTUDE HYDROLOGIQUE

→ *Caractéristiques des crues*

Sur la base des observations et des informations collectées, on peut estimer les crues provoquant des inondations dans la ville d'Ingall. Nous avons effectué des profils en travers afin d'évaluer les sections mouillées. La crue a été calculée en appliquant la formule de MANNING-STRICKLER pour déterminer l'écoulement maximal.

$$V = K \times R^{2/3} \times I^{1/2} \text{ et } Q = V \times S$$

avec V = vitesse moyenne (m)

K = coefficient de rugosité

S = section mouillée (m^2)

P = périmètre mouillé (m)

R = rayon mouillé S/P (m)

I = pente (m/m)

Deux profils en travers dans les deux bras du kory primordialement originaires de la crue, ont permis de faire une estimation de son débit à :

$$V = 30 \times 0,32^{2/3} \times 0,012^{1/2} = \mathbf{1,54} \text{ m/s} \quad Q = 1,96 \times 43 = \mathbf{66} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = 30 \times 0,34^{2/3} \times 0,012^{1/2} = \mathbf{1,60} \text{ m/s} \quad Q = 2,05 \times 106 = \mathbf{170} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{soit } Q \text{ total : } \mathbf{66 + 170 = 236} \text{ m}^3/\text{s}$$

A la sortie d'In Gall, sur le radier de la route bitumée, on a nivelé une troisième section de la crue permettant d'y déterminer encore une fois le débit avec :

$$V = 32 \times 0,49^{2/3} \times 0,003^{1/2} = \mathbf{1,18} \text{ m/s} \quad Q = 1,18 \times 152 = \mathbf{179} \text{ m}^3/\text{s}$$



Photos Inondation - 2009

→ Calcul des apports du bassin versant

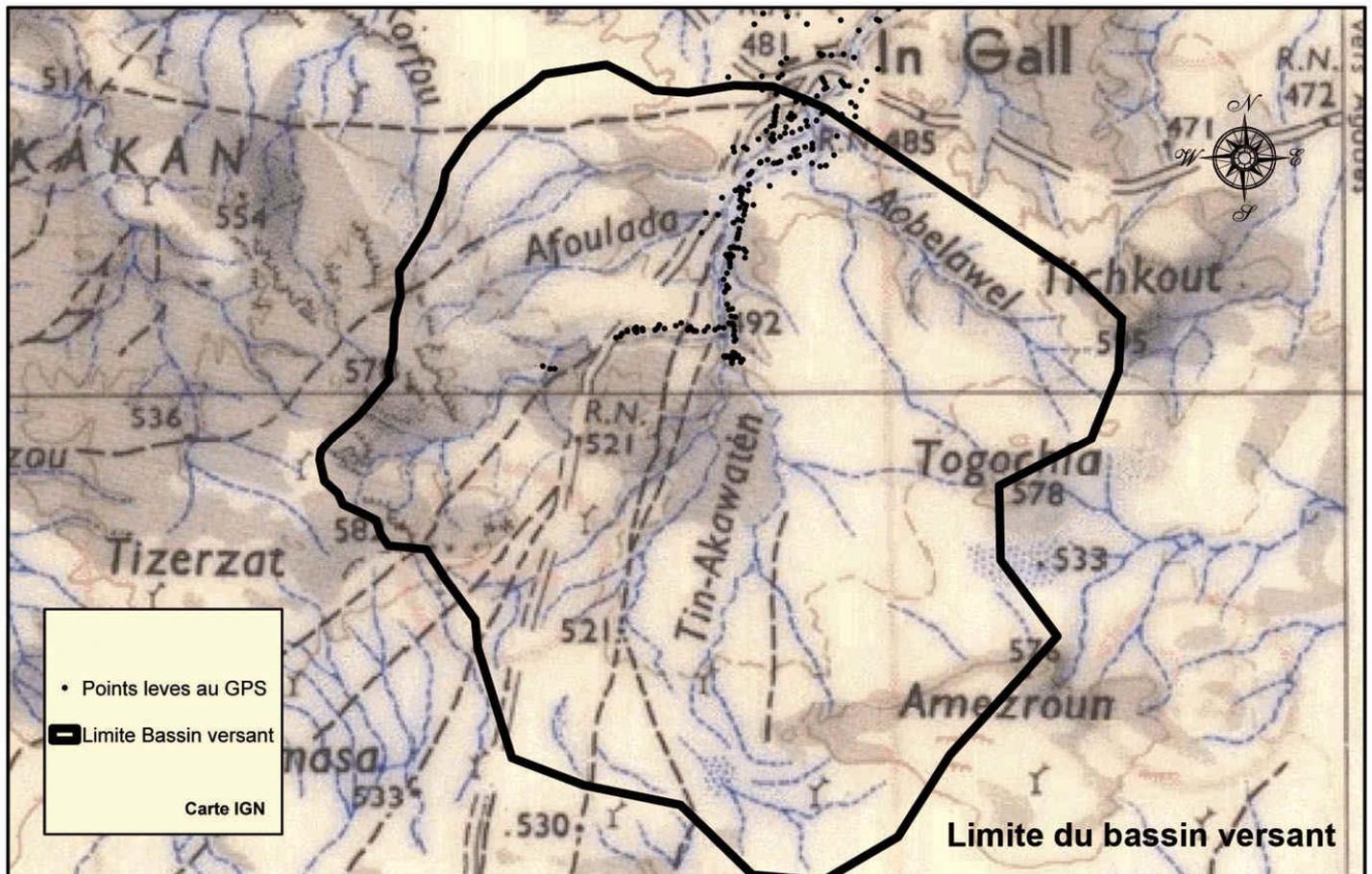
Le calcul des apports du bassin versant a été fait selon la méthode ORSTOM présentée dans le document « Crues et Apports », bulletin FAO N°54 de 1996. En effet cette méthode permet d'estimer le débit des crues du kory principale à partir des caractéristiques physiques de son bassin versant et de sa position géographique.

* Caractéristiques du bassin

Superficie	75 km ²
Périmètre	34 km
Coefficient de compacité	1,1
Longueur du rectangle équivalent	11 km
Ig, Indice de pente globale	4,0

Tableau 1 : Caractéristiques du bassin versant d'Ingall

Le bassin versant est délimité à l'ouest par les Monts In Kakan qui constituent un reliquat des falaises de Tiguidit. C'est de ces Monts que provient l'essentiel des eaux alimentant le kory d'Ingall qui en est issu. Par l'ouest la pente est plus douce et constitue une partie du glacis des falaises où l'eau s'écoule de manière moins structurée. Les buttes témoin de Togochia et Awalawel délimitent cette partie.



* Les précipitations

Le centre du bassin est situé à 6° 55' Est et 16° 45' Nord. Selon les observations faites à In Gall entre 1950 et 1987, on a enregistré une pluie annuelle moyenne (P_{an}) de 195,8 mm et depuis 1994 (reprise des enregistrements) une moyenne de 205,9 mm.

Année	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2016	2017	Moyenne
mm/a	155,6	109,6	171,6	156,2	201,8	307,0	165,1	136,5	289,4	327,8	126,1	324,0	372,8	277,5	205,9
jours/a	27	23	33	30	29	36	25	27	32	37	29	30	39	31	30

Pluies annuelles à In Gall 1994 - 2005 et 2016-2017 (source pluviomètre élevage)

En tenant compte de ce changement, les calculs ci-après sont basés sur un P_{an} de 200 mm. Sur l'abaque de la précipitation ponctuelle journalière décennale P_{10} (CIEH 1985) y correspondante, on trouve : **$P_{10} = 57$ mm.**

La précipitation décennale moyenne sur le bassin est : $P_{m10} = A \times P_{10}$, avec A, le coefficient d'abattement de la pluie sur le bassin :

A étant 0,79, on trouve : **$P_{m10} = 0,79 \times 57 = 45$ mm**

* Indice de pente global

Il est déterminé à partir de la formule suivante : $I_g = D/L$

– D représente la dénivelée exprimée en mètres, séparant les altitudes ayant approximativement 5% et 95% de la surface du bassin au-dessus d'elles

- L est la longueur du rectangle équivalent, exprimée en km
- I_g est exprimé en m/km

Pour ce bassin, on a un indice de pente global **I_g de 4,0 m/km**, le bassin est relativement imperméable (RI).

* Coefficient de ruissellement décennal Kr_{10}

A défaut de données disponibles, on va prendre le coefficient de ruissellement moyen du type d'état de surface dominant dans la région, **$Kr_{10} = 35$ %**

* Volume ruisselé décennal Vr_{10}

$$Vr_{10} = 10^3 \times P_{m10} \times Kr_{10} \times S = 10^3 \times 45 \times 0,35 \times 75 \text{ soit un } \mathbf{Vr_{10} = 1,18 \times 10^6 m^3}$$

Temps de base des écoulements Tb_{10}

Le temps de base est calculé par interpolation entre I_g3 et I_g7 , avec $Tb_{10}(I_g3) = 1350$ mn et $Tb_{10}(I_g7) = 630$ mn

$$\text{soit } \mathbf{Tb_{10} = 990 \text{ mn} = 59.400 \text{ s}}$$

* Débits caractéristiques du bassin

Le débit moyen de ruissellement est calculé selon la formule $Q_{mr10} = Vr_{10} / Tb_{10}$

$$\text{Soit } \mathbf{Q_{mr10} = 19,87 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Le débit maximum de ruissellement est calculé selon la formule $Qr_{10} = \square_{10} \times Q_{mr10}$.

Le coefficient de pointe \square_{10} , rapport du débit maximum ruisselé au débit moyen. On l'admet de façon générale voisin de 2,6 quel que soit la superficie du bassin.

$$\text{soit } \mathbf{Qr_{10} = 51,66 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Le débit d'écoulement retardé est calculé selon la formule $Qret_{10} = 0,045 \times Qr_{10}$

$$\text{soit } \mathbf{Qret_{10} = 2,32 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Le volume d'écoulement retardé est calculé selon la formule $Vret_{10} = Qret_{10} \times Tb_{10}$

$$\text{soit } \mathbf{Vret_{10} = 0,138 \times 10^6 \text{ m}^3}$$

Le volume total de la crue est calculé selon la formule $Vc_{10} = Vr_{10} + Vret_{10}$

soit $V_{c10} = 1,318 \times 10^6 \text{ m}^3$

Le débit de la crue centennale est calculé selon la formule $Q_{100} = C \times Q_{10}$ avec $Q_{10} = Q_{r10} + Q_{ret10}$ avec $C = 1 + (0.45 \times (T_{b10}/24)^{0.12})/K_{r10} = 2,23$

soit $Q_{10} = 54 \text{ m}^3/\text{s}$ et $Q_{100} = 120 \text{ m}^3/\text{s}$

Les hauteurs d'eau pendant les crues nous ont permis d'estimer le débit du Kory. Vu les calculs présentés ci-devant, on constate que les crues du Kory provoquant les inondations dans la ville d'In Gall ($236 \text{ m}^3/\text{s}$) sont presque deux fois plus fortes que la crue centennale ($120 \text{ m}^3/\text{s}$), donc des crues très exceptionnelles mais qui se répètent. Ajouté à un entretien insuffisant des quelques infrastructures présentes, seuils, berges, épis et à l'urbanisation non maîtrisée, les dégâts sont très lourds lorsqu'une telle crue survient.

Les données météorologiques bien que partielles nous indiquent également que les événements pluvieux sont surtout plus violents avec de courtes pluies mais larguant de grande quantité d'eau sur la région, accentuant l'érosion autour des plus grands oueds.

ANALYSE DE LA SITUATION

→ Généralités sur les écoulements à Ingall

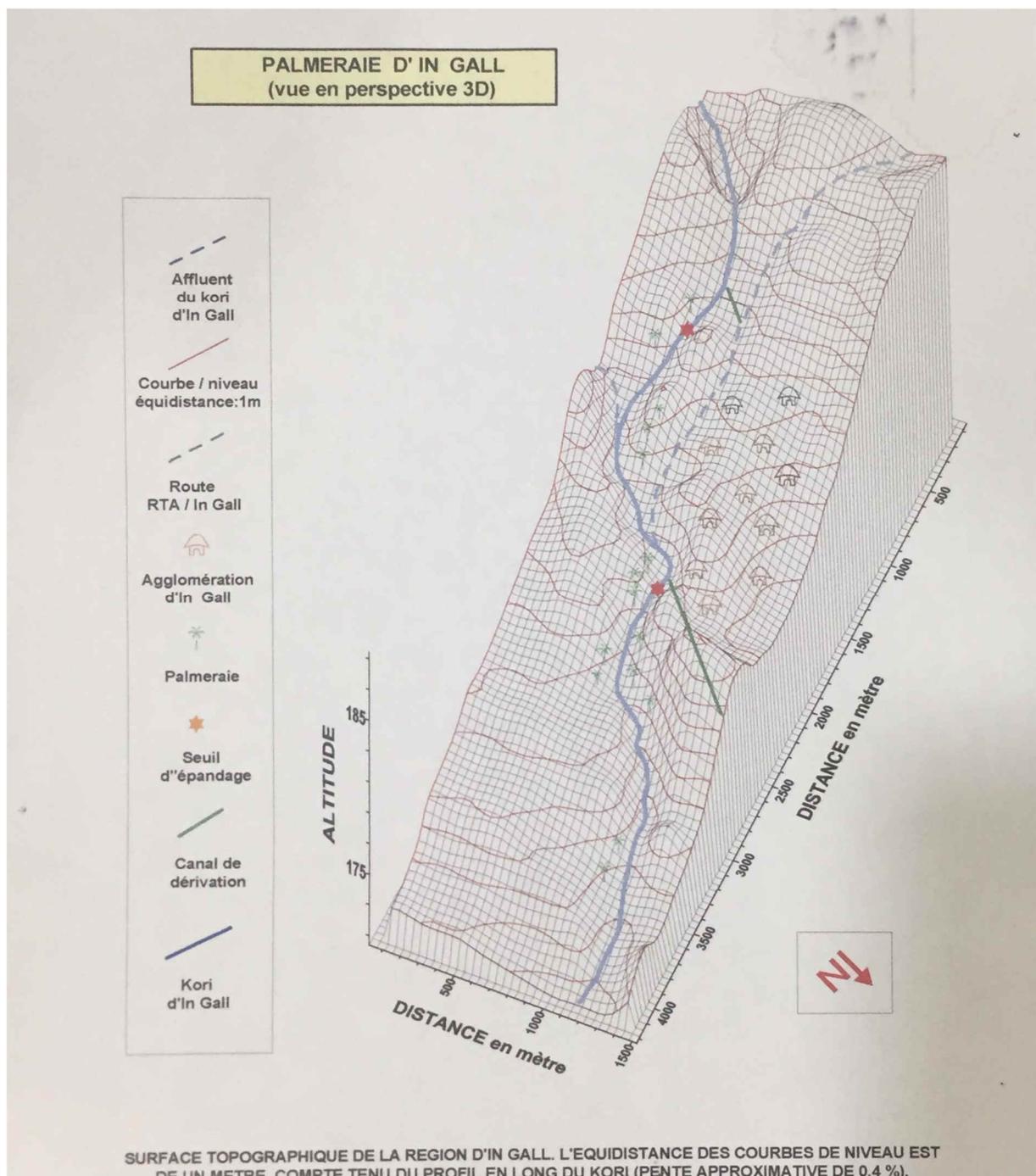
Pour le village d'Ingall nous avons deux types d'écoulements :

- Les eaux du kory qui proviennent des eaux du ruissellement de l'ensemble du bassin
- Les eaux pluviales issues du ruissellement des eaux de pluies à l'échelle du village

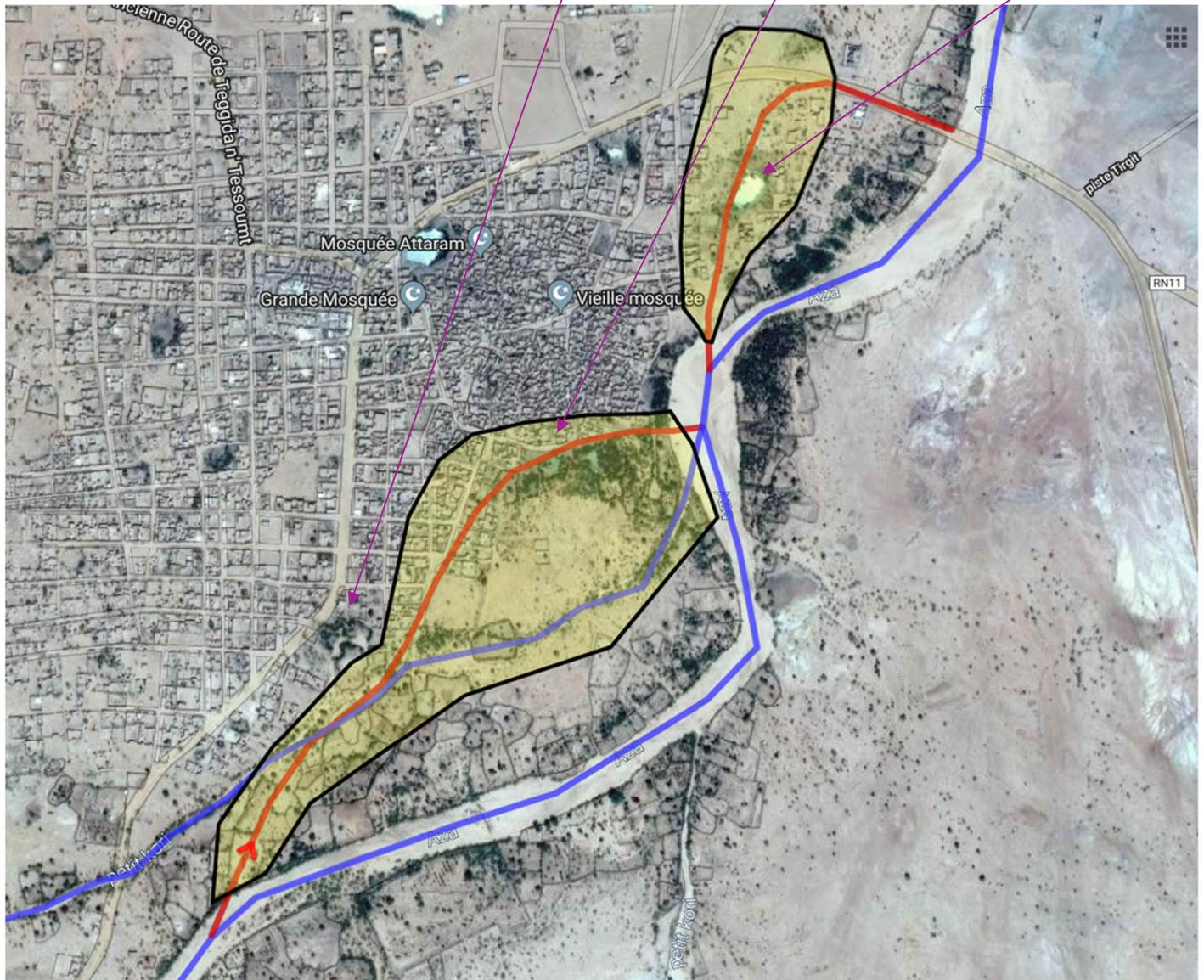
Le réseau de ruissellement de ces deux types d'écoulement est composé du Kory, des rues et ruelles et des mares.

× Bassin Versant de la vallée d'Ingall

A l'échelle du Bassin versant les eaux sont drainées vers le Kory. Comme l'illustre la carte ci-dessous, le sens général des écoulements des eaux est Sud-Ouest - Nord-Est.



Les recherches sur place et les calculs hydrologiques ont mis en évidence que la cause principale des dégâts dans le kory et dans la ville d'In Gall, sont des crues exceptionnelles, beaucoup plus fortes que la crue centennale. Ces crues surviennent à des fréquences très rapprochées 2016, 2017, 2009 et 2006. Ces crues ont pour conséquences le remplissage exceptionnel des mares suivantes : Akalal n'Goussou, Tassala n'Goussou et Takoy n'Goussou. Ces mares sont aussi alimentées par les eaux de ruissellement de la ville et deviennent ainsi permanentes.



Inondation de 2010 par Chlorophylle

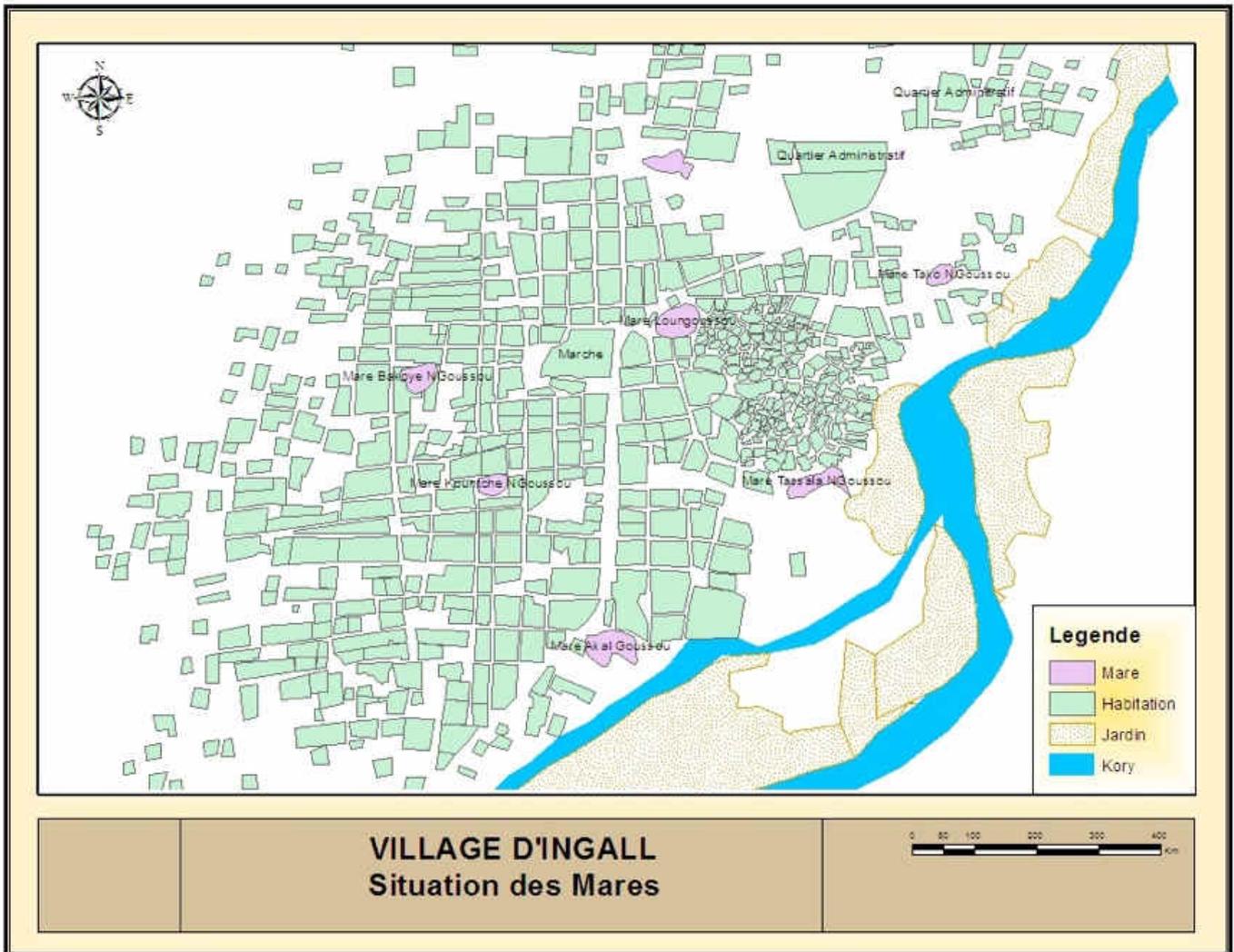
En 2010 la violence des eaux en arrivant à un coude du kory où les épis ne sont plus apparents ont débordé à la faveur également de l'ensablement qui a réduit la hauteur des berges. Elles se sont engouffrées dans les jardins pour rejoindre le petit kory et ont longé le village par le sud ravageant les habitations situées à cette lisière. Elles ont ensuite rejoint le kory principal au niveau du vieux quartier de jardin Imusan.

Un autre débordement a eu lieu toujours sur un coude du kory à l'est de la vieille ville pour rejoindre la mare Takoy n'Goussou et ensuite butter contre la route principale et retourner dans le kory principal au niveau du radié de la RN11 franchissant l'oued.

Les crues du Kory n'influencent pas le remplissage des mares suivantes : Longoussou, Bakoye n'Goussou et Kountché n'Goussou = réduction du bassin versant qui les alimentent

× La ville d'Ingall

A l'échelle de la ville les eaux pluviales s'écoulent à travers les rues et ruelles vers les mares qui constituent les points bas et le Kory. Il existe une dizaine de mares dont les plus importantes sont les suivantes : Longoussou, Akalal n'Goussou, Tassala n'Goussou, Tako n'Goussou, Bakoye n'Goussou et Kountché n'Goussou.



Les rues et ruelles canalisent les eaux de pluie vers les mares qui jouent les rôles de bassin de dissipation d'énergie et d'exutoire. En effet le remplissage de ces mares engendre l'augmentation de leur volume et leur débordement provoque des dégâts dans les habitations avoisinantes. Les pluviométries en hausse ces dernières décennies (avec des pluies annuelles supérieures à 200 mm) ont contribué à l'agrandissement et au remplissage des mares. Ce phénomène augmente aussi la durée de ces mares qui deviennent quasi permanentes pendant toute l'année.

Nous avons divisé les rues drainantes et principales (RP) et secondaires (RS)

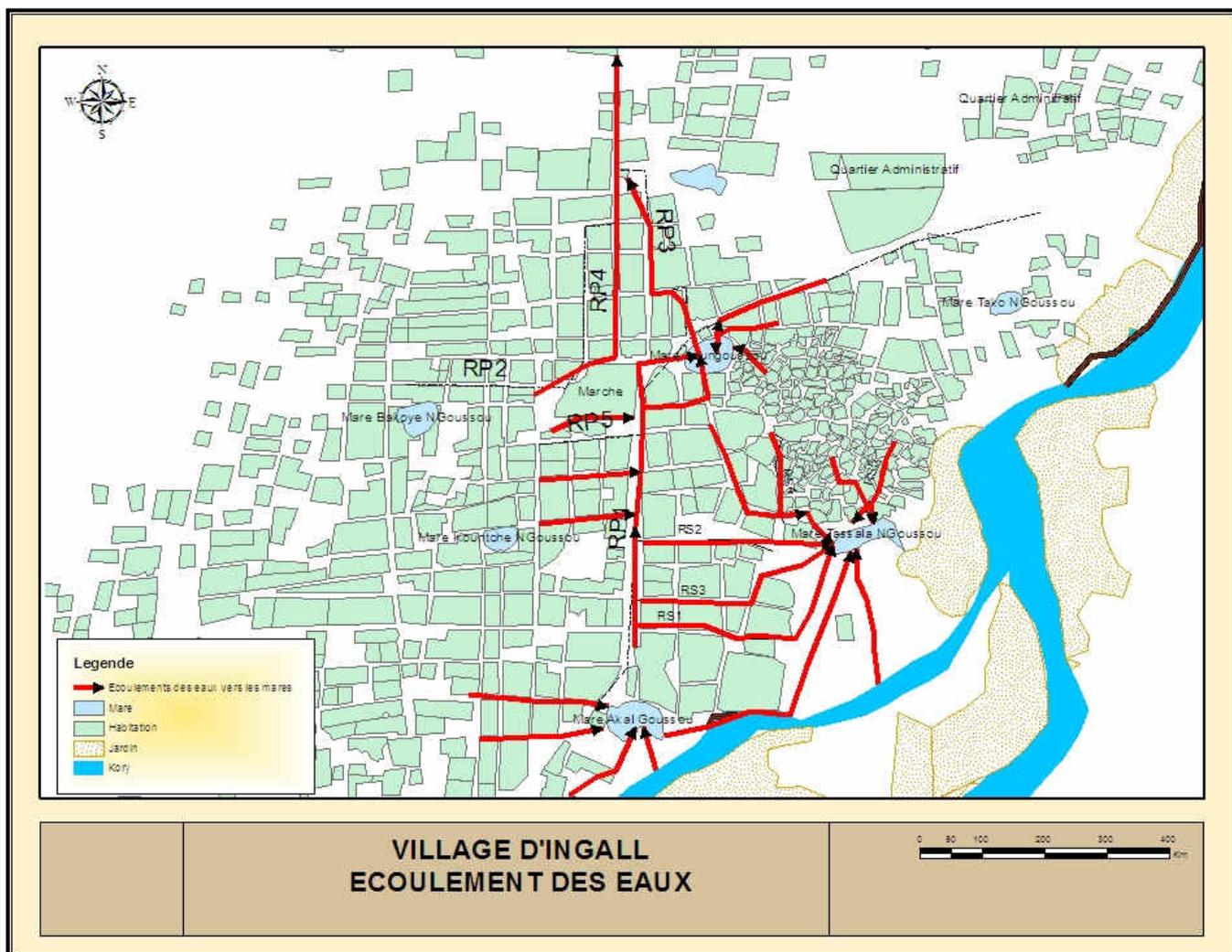


Photo : Rues Drainantes RS2 et RS3

→ Remplissage des Mares

La dynamique générale de remplissage se fait ouest/sud-ouest et les eaux peuvent s'écouler vers le nord de la ville ou pour la plus grande partie vers l'est rejoignant ainsi le kory principal. 'Goussou' en Tasawaq, la langue locale signifie 'le trou'.

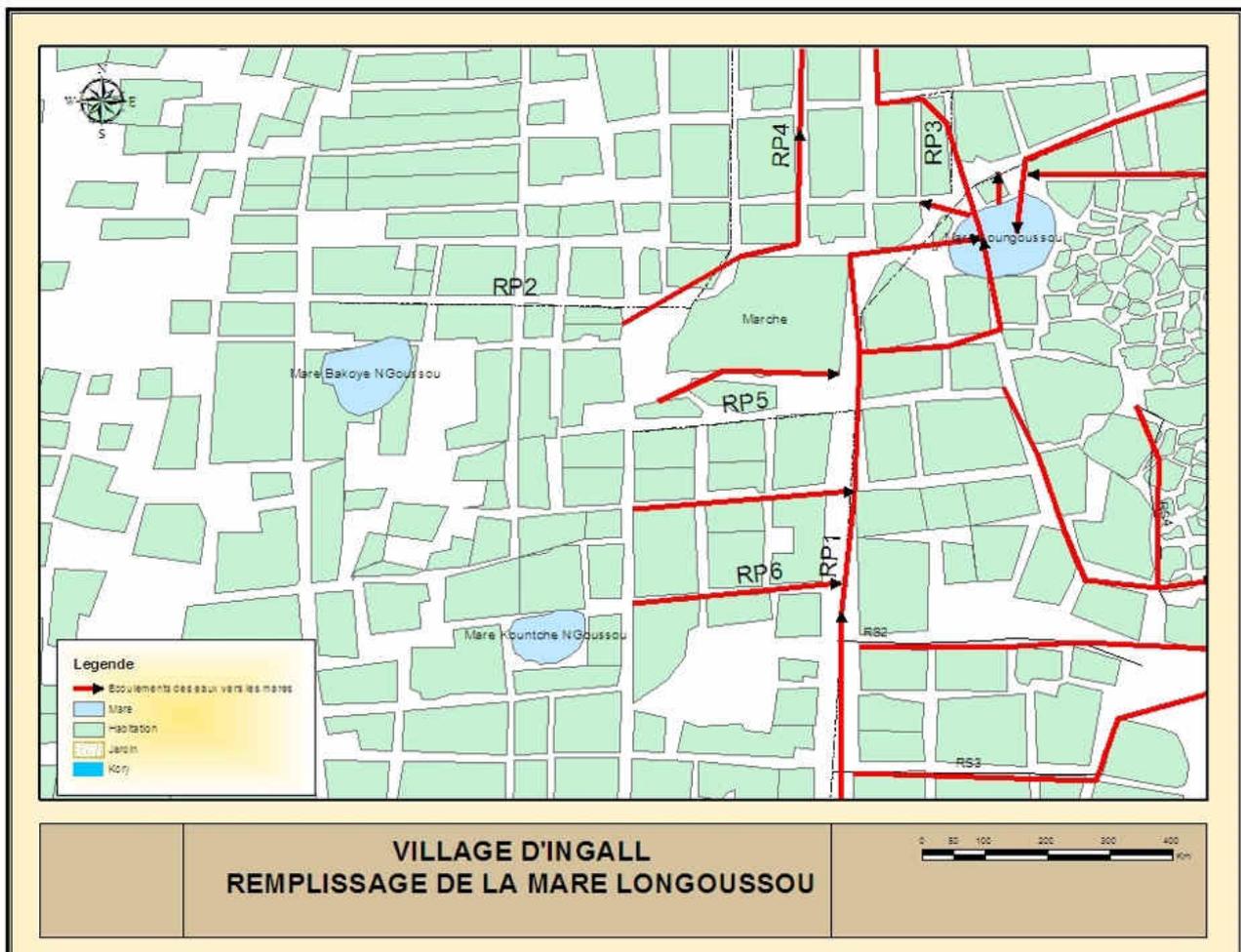
× Mare Longoussou

D'après la topographie du terrain, la mare Longoussou constitue l'exutoire principal des eaux de pluies de plus de la moitié de la ville. Une grande partie des eaux de la partie Sud-Ouest du village sont drainées vers cette mare à travers la rue RP1. La mare ne disposant pas de canal d'évacuation vers le Kory, ces eaux stagnent et seul le trop plein par une voie traverse le local

de la SEEN pour ensuite se déverser dans la RP4 qui s'écoule vers le nord. Les eaux de la ville sont drainées vers la mare par le biais de la voie principale RP1 et quelques voies secondaires. Cette mare est utilisée comme dépotoir principal pour les ordures ménagères ce qui augmente la hauteur des bordures de la mare et par conséquent son volume de stockage.



Photo : Mare Loungoussou



Carte : Mécanisme de remplissage de la mare (voir profil des rues en annexe)

✘ Mare Akalal n’Goussou, Tassala n’Goussou

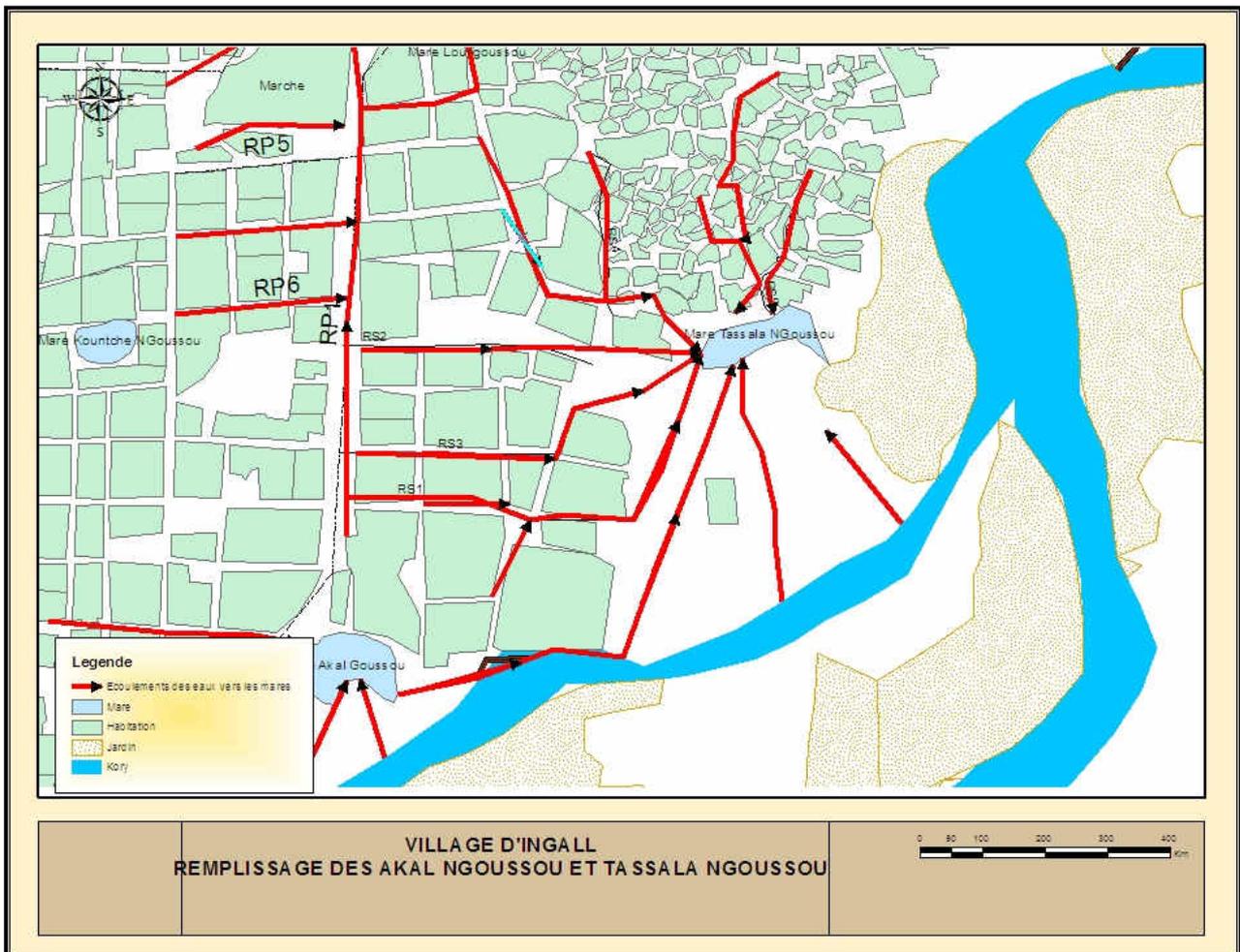
Ces deux mares sont situées en bordure du village et communiquent entre elles.

Quand il pleut dans la ville d’Ingall une grande partie des eaux ruissellent vers ces deux mares qui deviennent leur exutoire. Akalal n’Goussou se remplit par les eaux venant des rues situées à l’ouest de la ville et qui ne peuvent atteindre le RP1. En cas de trop plein la mare Akalal n’Goussou déverse sur la mare Tassala n’Goussou ou le petit kory. En cas des crues exceptionnelles du Kory ces mares se remplissent et déversent vers la ville avec comme conséquence l’inondation des habitations de cette partie de la ville.

Le remplissage de ces deux mares se fait donc sous deux forme :

- En cas de pluie dans la ville d’Ingall les eaux de ruissellement de la ville s’écoulent vers ces deux mares et le trop-plein de la mare est évacué vers le kory. Les Rues RS1, RS2, RS3, RS4 et RS5 sont les principales ruelles non revêtues qui alimentent la Mare Tassala n’Goussou. Il existe d’autres ruelles revêtues en perrés maçonnés qui drainent vers la même mare, construite par l’association Chlorophylle. Ces rues drainent les eaux de ruissellement vers leur exutoire sans dégrader les habitations riveraines.
- En cas des crues exceptionnelles du Kory les eaux du Kory remplissent les mares et le trop plein est évacué vers la ville ce qui provoque des inondations, ce cas de figure est plus fréquent sur la mare Tassala n’Goussou du fait de sa proximité avec le Kory.

Le prélèvement du banco pour la fabrication des briques augmente le volume de stockage de la mare Akalal n’Goussou.



Carte : Mécanisme de remplissage de la Mare Akal n’Goussou et Tassala n’Goussou



Photo : Mare Akal n'Goussou -carrière de Banco et ruelle alimentant la mare Tassala n'Goussou



Photo : Mare Tassala n'Goussou

✦ Mares Bakoye n'Goussou et Kountché n'Goussou

Ces deux mares sont situées dans la partie ouest du village. Leur remplissage provient uniquement des eaux pluviales. En cas de trop plein la mare Kountche n'Goussou débordent sur la mare Bakoye n'Goussou. Ces deux mares qui sont des anciennes carrières de banco sont en voie de disparition à cause non seulement de la non exploitation de ces carrières mais aussi des dépôts solides engendrés par le ruissellement des eaux. Elles n'en sont pas moins insalubres avec également une prolifération de Prosopis augmentant la stagnation des eaux.



Photo : Mare Kountche n'Goussou et Bakoye n'Goussou

× Estimation des volumes des mares

Mare	Superficie (m2)	Profondeur moyenne (m)	Volume estimé (m3)
Longoussou	6 500	6	39 000
Tako n'Goussou	2 550	2	5 100
Tassala n'Goussou	5 200	5	26 000
Akalal n'Goussou	5 440	5	27 200
Bakoye n'Goussou	4 615	1	4 615
Kountche n'Goussou	3 000	1	3 000
Mare de la Mairie	3 800	1	3 800
Mare Faisceau	2 500	0,5	1 250
Mare Station	1 200	0,5	600
Mare ouest	2 300	1	2 300
Autres petites mares	1 000	0,5	500

Soit un total de 113 365 m³ de mares.

→ **Circuit d'évacuation des eaux de ruissellement**

L'évacuation des eaux pluviales est ici assurée par les rues et ruelles avec des pentes plus ou moins fortes. Ces eaux drainent vers les mares précédemment citées et le kory. Nous classons ces rues en deux catégories :

× Rue drainantes principales

Ce sont les rues principales carrossables larges avec des pentes plus faibles (voir profil en annexe).

NUMERO RUE	LONGUEUR (m)
RP1	2194
RP2	685
RP3	540
RP4	700
RP5	220
RP6	140
TOTAL	4 479

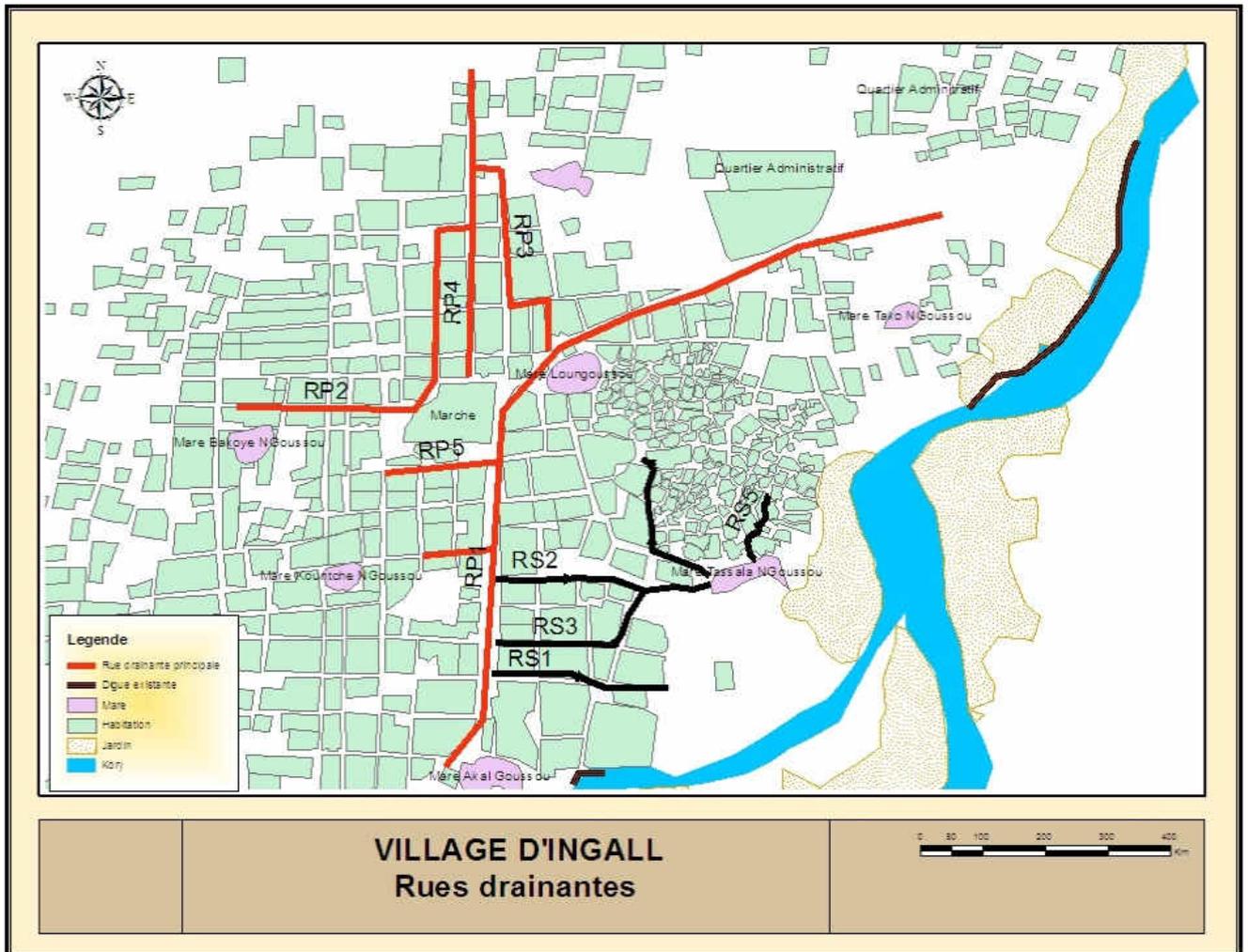
× Rues drainantes secondaires

Ce sont des ruelles étroites avec des largeurs souvent inférieures à 3 m et des fortes pentes (voir profil en annexe).

NUMERO RUE	LONGUEUR(m)
RS1	299
RS2	106
RS3	371
RS4	278
RS5	115
TOTAL	1169



Photo : Rues drainantes secondaires



PROPOSITION D'AMÉNAGEMENT

La préoccupation principale de la ville est l'insalubrité liée aux mares et l'effondrement des habitations causées par les inondations.

Les propositions de programme doivent consister à remblayer les mares, les rues drainantes et protéger le village contre les crues exceptionnelles du Kory.

Tous les ouvrages seront dimensionnés sur la base d'une crue centennale au vu des événements survenus ces dix dernières années.

→ *Programme principal*

Le parti pris est de combler l'ensemble des mares urbaines en aménageant les rues permettant un écoulement des eaux de ruissellement.

Il s'agira de :

- Remblayer la mare Longoussou,
- Remblayer les mares Akalal n'Goussou et Tassala n'Goussou et faire des digues en gabion le long de ces mares du côté village,
- Construire des rues en pavés autobloquants sur les rues drainantes principales,
- Construction en perrés maçonnées au niveau des ruelles drainantes secondaires,
- Construire deux caniveaux
 - Caniveau C1 sur la rue principale R1 pour collecter les eaux qui drainent vers la mare Longoussou : 1 620 ml
 - Caniveau C2 pour évacuer les eaux collectées vers l'affluent du kory situé au Nord-Ouest de la ville : 820 ml
- Comblé les autres mares Bakoye n'Goussou, Kountché n'Goussou, Tako n'Goussou, et la mare de la mairie.

Avantages

Ce système permettra de résoudre le problème des eaux de ruissellement ainsi que celui de l'insalubrité liée aux mares. Les déblais issus de la construction des rues pavées et caniveaux serviront à remblayer les mares.

Les caractéristiques font que l'on peut scinder en trois les travaux :

Lot 1 : tout ce qui concerne la partie autour de la mare Longoussou

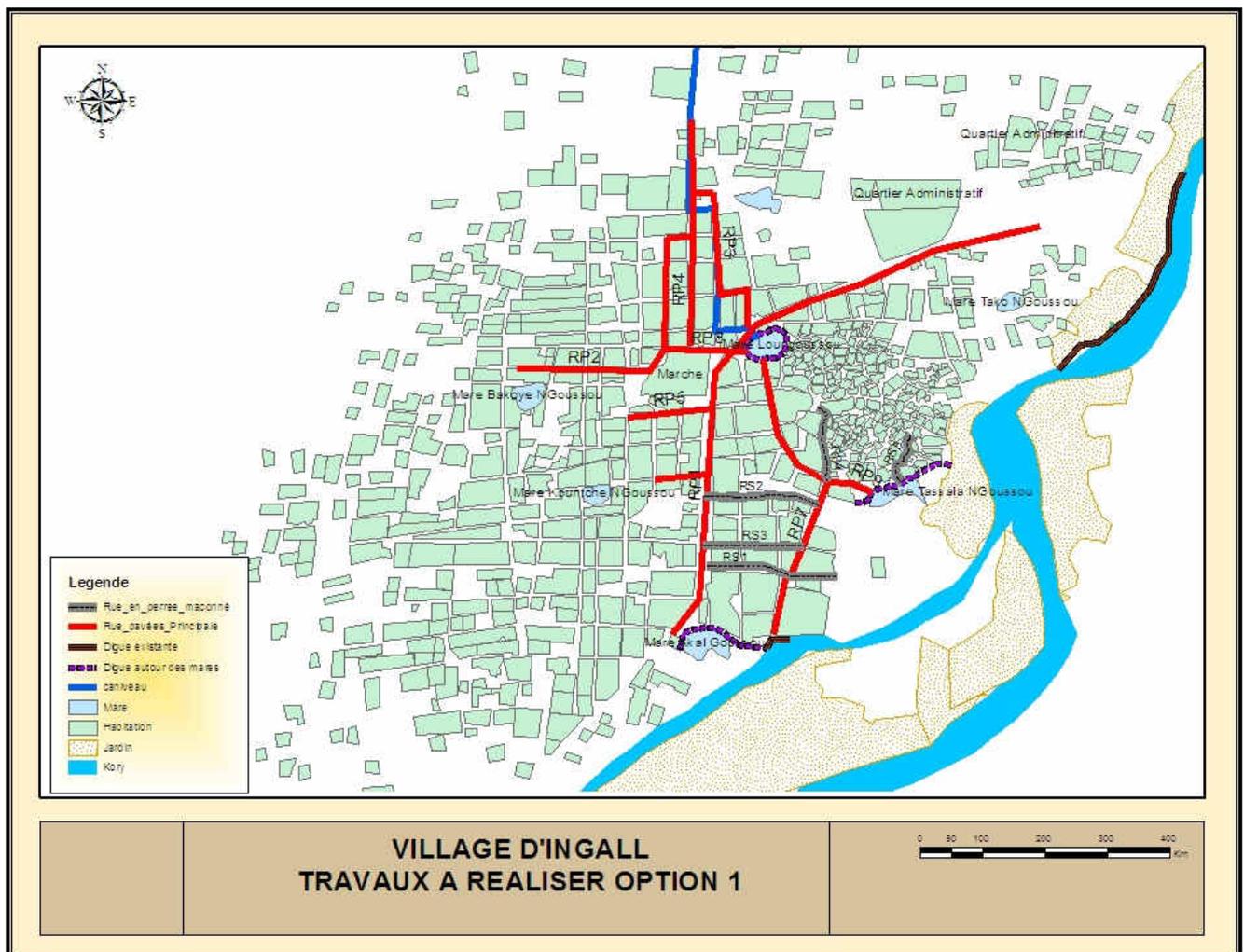
Lot 2 : pour la partie sud du village autour des mares Tasalla n'Goussou et Akalal n'Goussou

Lot 3 : ensemble des autres mares simples à combler.

D'une manière générale les travaux commenceront de l'aval et se réaliseront vers l'amont afin de s'assurer que les premiers travaux vers les exutoires soient efficaces.

Contraintes

Cette solution a un coût élevé, notamment le Lot 1, et nécessite une étude très détaillée sur une longue période. Aussi les travaux du lot 1 ne doivent pas être trop partitionnés mais être réalisés par lot surtout autour de la mare Longoussou.



→ **Comblement des mares**

× La mare Longoussou

Elle sera remblayée en utilisant le déblai provenant de la construction des caniveaux et des rues pavées ce qui ne suffira pas il faudra importer des matériaux banco de l'extérieur de la ville. Ici le remblai devra être compacté afin de permettre la viabilisation de l'espace.

En remblayant la mare Longoussou un caniveau doit être construit tout le long de la rue R1 sur 1620 ml.

Un caniveau C2 de 860 ml sera construit pour évacuer les eaux vers l'affluent du Kory situé au nord-ouest de la ville. Longueur totale caniveau : 2 480 ml.

Les caniveaux seront en béton armé dosé à 350 kg/m³ avec une profondeur moyenne de 1,5 m, une largeur de 1,5 m et 0,20 m comme épaisseur des parois.

Les études finales préciseront si les rues pavées principales sont suffisantes ou pas pour l'évacuation des eaux de ruissellements, en lieu et place des caniveaux.

× Mare Akalal n'Goussou et Tassala n'Goussou

Pour les mares Akalal n'Goussou et Tassala N'Goussou, l'aménagement de ces deux mares consistera à :

1. Remblayer les mares avec les déblais issus de la construction des pavées et caniveau, le volume des remblais est estimé à 53 200 m³ pour ces 2 mares,
2. Construire une digue de protection en gabion du coté village, 2 portions sont nécessaires près de chaque mare pour une longueur totale de 480 m,

3. Des merlons de banco pourront compléter les ouvrages.

Après le remblayage des mares des digues en gabion seront construites pour protéger la ville contre les débordements du Kory.

Les digues auront les dimensions suivantes :

Hauteur hors sol : 1, 0 m

Profondeur fondation : 1 m

Largeur fondation : 3 m

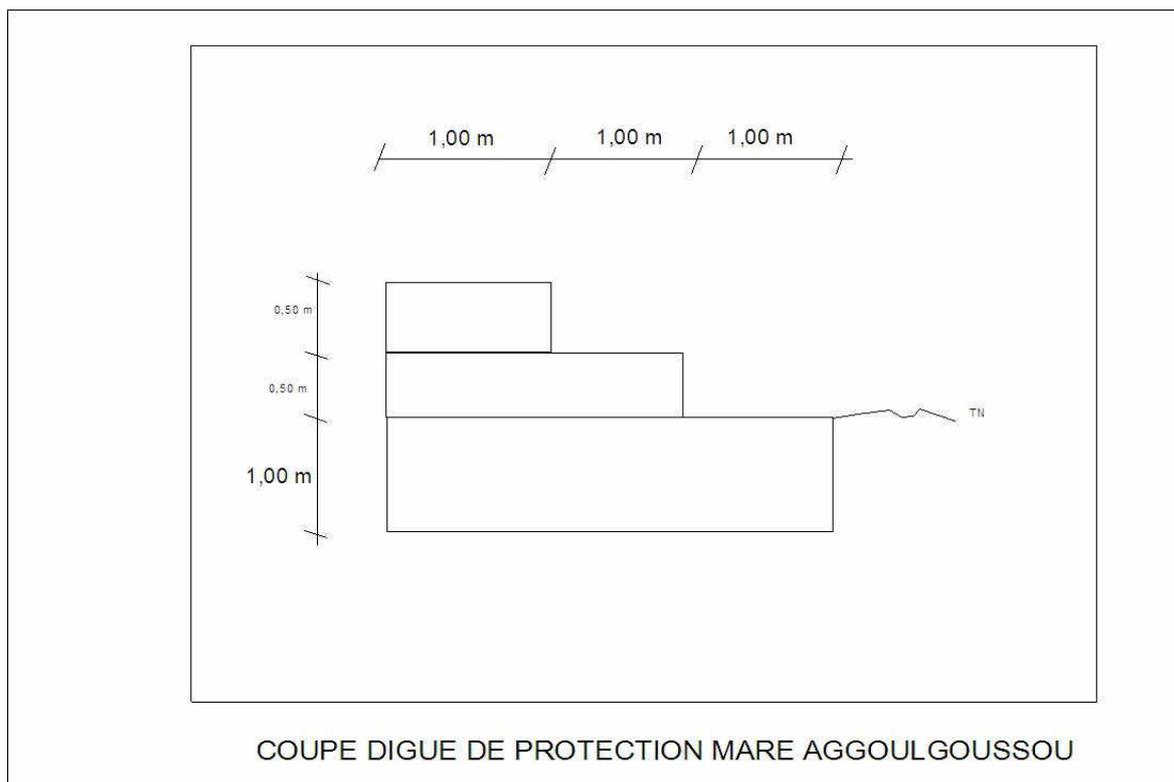
Largeur en crête : 1 m

Longueur : Mare Akalal n'Goussou 220 m

Mare Tassala n'Goussou 260 m Total 480 m

Estimation du Volume des travaux :

- Fouille pour fondation :
 - Volume fouille = Surface de la fondation x la longueur de la digue = 3 m x 1m x 480 m = 1 440 m³
- Gabion :
 - Volume gabion : Surface digue x longueur digue = (3m x 1 m + 2 m X 0,5m + 1m x 0,5m) x 480 m = 2 160 m³



* Remblaiement des autres mares

Les déblais provenant de la construction des rues pavées et du caniveau pourront être utilisés pour remblayer les autres mares (Kountché n'Goussou et Bakoye n'Goussou). Le coup du remblai pourra être pris en compte en calculant le déblai mis en dépôt provenant de la construction des rues pavés et caniveau.

→ Construction des rues pavées sur les rues principales

Les rues principales suivantes seront pavées. La rue principale ou route de Tahoua RP1 est la priorité dans cet aménagement car elle porte la fonction de rue drainantes principales, ainsi que les rues RP3 et 4 qui prolongent cette rue principale vers le nord et évacuent définitivement les eaux de ruissellements. Les autres rues sont importantes mais sont des aménagements qui peuvent être différés.

Ces rues aménagées en pavés autobloquants permettront de collecter et évacuer les eaux pluviales. La construction se fait suivant les étapes suivantes :

- Déblai (sur des profondeurs variables en fonction de la topographie du terrain naturel)
- Mise en place de latérite compacté d'une épaisseur de 20 cm
- Pose des bordures
- Mise en place d'un lit de sable
- Pose de pavés autobloquants

Les travaux consistent à l'aménagement des rues principales en pavées autobloquants. Les rues en pavées autobloquants sont carrossables et permettent le drainage des eaux de pluie.

Ces rues aménagées en pavés autobloquants permettront de collecter et évacuer les eaux pluviales.

NUMERO RUE	LONGEUR(m)	Largeur (m)	Priorité
RP1	2194	6	1
RP2	685	6	2
RP3	540	6	2
RP4	700	6	2
RP5	220	6	2
RP6	140	6	2
RP7	900	4	2
RP8	200	6	2
RP9	110	6	2
TOTAL	5 189		

→ Construction des rues en perrés maçonnés sur les ruelles secondaires

Les ruelles secondaires seront aménagées avec du perrés maçonnées, elles seront construites en utilisant des pierres plates et joint par un mortier en ciment. Ces travaux ont en partie déjà été réalisés avec l'association Chlorophylle, il conviendra de les poursuivre.

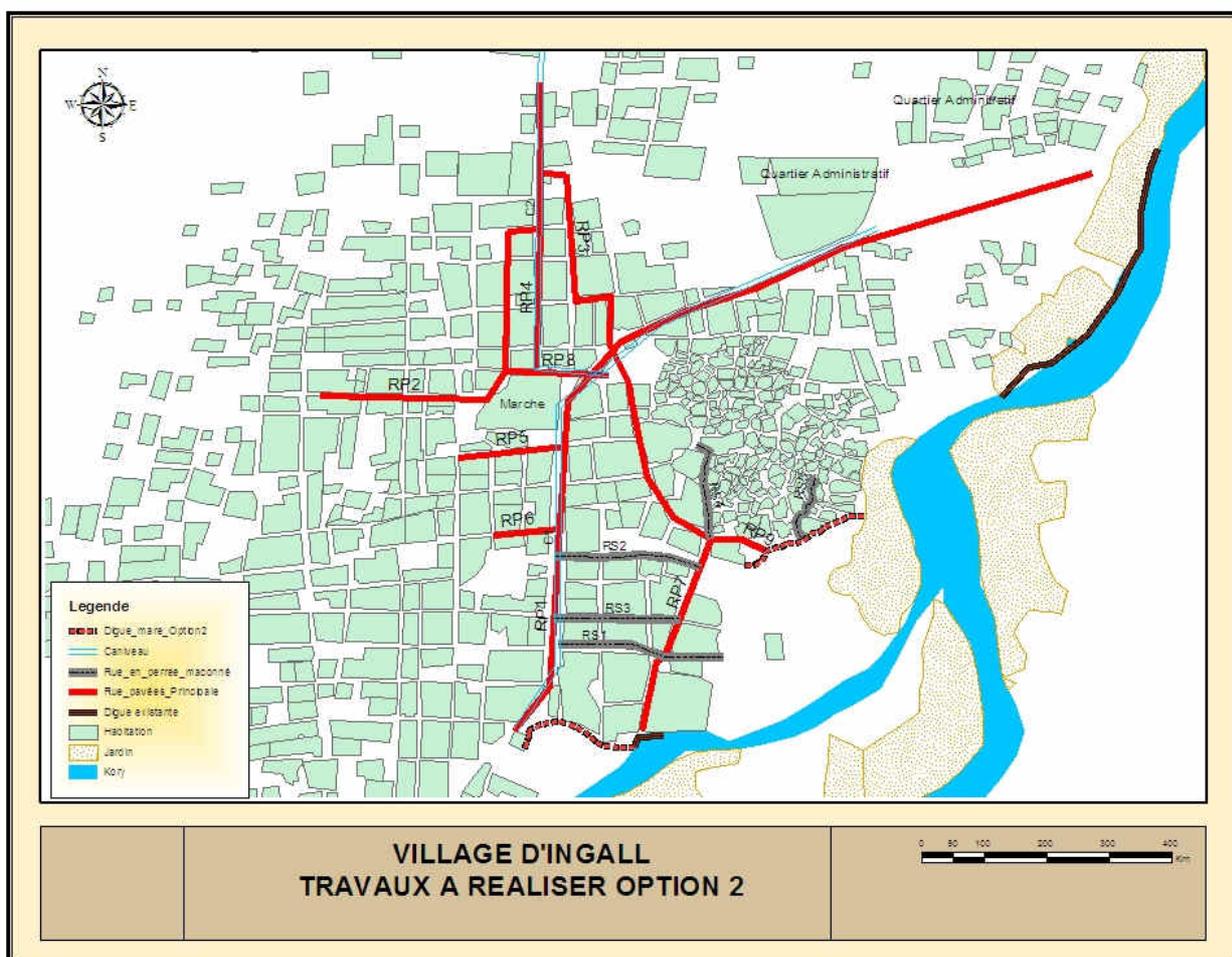
Les travaux consistent au traitement des rues drainantes secondaires situées dans et autour de la vieille ville. Ces ruelles étant étroites et les maisons en banco fragiles, les travaux seront manuels. Le traitement consistera à stabiliser les parois avec des perrés maçonnés. L'aménagement se fera en suivant le terrain naturel avec un minimum de déblai afin de ne pas endommager les fondations des maisons.

Ces ruelles seront construites en utilisant des pierres plates et joint par un mortier en ciment. Ces travaux constituent la priorité 2 de cette option d'aménagement.

Les travaux ne nécessitant pas un contrôle technique particulier ils pourront être exécutés en régie par Chlorophylle avec l'appui techniques des services techniques communaux. Des maçons sont déjà formés localement pour l'exécution des travaux. Les travaux seront exécutés en HIMO (Haute intensité de main d'œuvre) avec une forte utilisation de main d'œuvre locale non qualifiée.

La durée prévisionnelle des travaux est de 4 mois.

NUMERO RUE	LONGUEUR(m)	Largeur (m)
RS1	299	3
RS2	106	3
RS3	210	3
RS4	200	3
RS5	115	3
TOTAL	930	



→ **OPTION**

Une option peut être de garder la mare Longoussou comme bassin de dissipation des eaux de ruissellements au moins dans un premier temps pour permettre tous les autres aménagements. Pour cela il sera nécessaire de faire quelques aménagements temporaires :

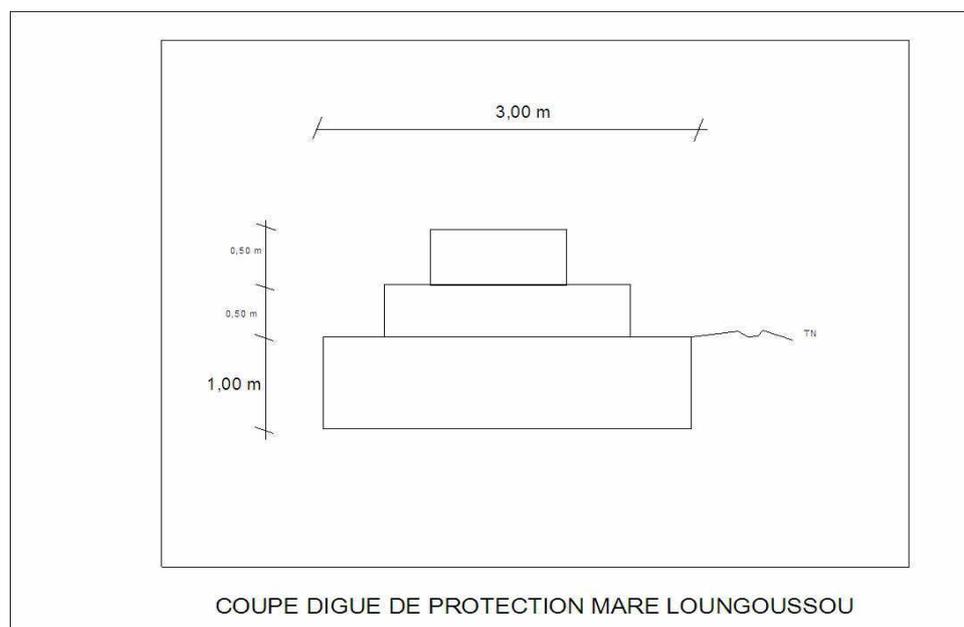
- Faire une fixation des bordures de la mare avec des ouvrages en gabions renforcés par une protection biologique avec des prosopis,
- Introduire des plantes envahissantes comme la jacinthe d'eau qui permettront de lutter contre certains parasites,
- Trouver un mécanisme pour la mise en valeur de l'eau de la mare (utiliser pour la construction par exemple)
- Construction d'un caniveau en béton armé pour évacuer le trop-plein de la mare Longoussou.

La digue permettra de circonscrire la mare et de stabiliser les bordures. Elle sera ensuite renforcée par des plantes de Prosopis. La digue aura les dimensions suivantes :

Hauteur hors sol : 1 m
Profondeur fondation : 1 m
Largeur fondation : 3 m
Largeur en crête : 1 m
Longueur : 350 m

Estimation du Volume des travaux :

- Volume fouille = 3 m x 1 m x 350 m = 1 050 m³
- Volume gabion = (3m x 1 m + 2 m X 0,5m + 1m x0,5m) x 350 m = 1 575 m³



Un caniveau doit être construit pour évacuer le trop-plein de la mare vers le nord et pourra ainsi renforcer l'évacuation de l'eau avec la rue pavée. La configuration du terrain ne permet pas de faire le caniveau de la Mare vers le Kory car le terrain est trop élevé. Actuellement le trop-plein de la mare est évacuée par la voix passant devant le château et ensuite dans un affluent au nord qui déverse dans le kory principal (voir profil du point).

Le caniveau sera fermé en béton armé dosé à 350 kg/m³ avec une profondeur de 1,5 m, une largeur de 1,5 m et 0,20 m comme épaisseur des parois.

→ **Plantation d'arbre**

Des plantes de Neem et de Doum seront plantées le long des digues en gabion à 5 m afin de renforcer leur efficacité, ainsi que sur les mares remblayées.

Pieds d'arbre : 500 unités



Photo : Rue revêtue en perrés maçonnées



Photo : Digue de Protection des berges en gabion

ESTIMATION DES COUT

→ *Comblement des mares*

Le comblement des mares sera fait de préférence lors des travaux routiers pour profiter des remblais sur place, néanmoins cela ne pourra pas suffire. Si pour le mare Longoussou cela suffit, ce n'est pas le cas et nous prenons un coût 3 000 Fcfa au m³ de remblais à amener, ce qui nous donne les montants suivants.

Mare	Volume estimé (m3)	Coûts de remblaiement (F cfa)
Loungoussou	39000	
Tako n'Goussou	5100	15 300 000
Tassala n'Goussou	26000	78 000 000
Akalal n'Goussou	27200	81 600 000
Bakoye n'Goussou	4615	13 845 000
Kountche n'Goussou	3000	9 000 000
Mare de la Mairie	3800	11 400 000
Mare Faisceau	1250	3 750 000
Mare Station	600	1 800 000
Mare ouest	2300	6 900 000
Autres petites mares	500	1 500 000
	113 365	340 095 000

Soit un coût total de 340 095 000 Fcfa

→ *Digue en gabion pour protection des mares*

Volume fouille = Largeur fondation x Profondeur x 1 m = 3m x 1m x 1m = 3 m³ = 3 m³

Nous sommes en terrain meuble nous pouvons alors appliquer un coût de 1000 F/m³.

Soit 3 000 F CFA par ml de fouille

Volume gabion = Surface Digue x 1m = (3m x 1 m + 2 m X 0,5m + 1m x0,5m) x 1m= 4,5m³

Coût gabion par m³ = 20 000 F CFA

Coût gabion par ml de digue = 20 000 F CFA x 4,5 = 90 000 F CFA

Coût total par ml de Digue = 3 000 F + 90 000 F CFA = 93 000 F CFA

Mare Akalal n'Goussou et Tassala n'Goussou : 480 m soit 44 640 000 Fcfa

→ *Rues Pavées*

Coût en entreprise pour les rues pavées

- Coût du ml de Rue type 1 de 6m de large = 110 000 F CFA /ml
- Coût du ml de Rue type 2 de 4m de large = 75 000 F CFA /ml
- Rues de 6 m de large = 4 289 ml x 110 000 F CFA /ml = 471 790 000 F CFA
- Rues de 4 m de large = 900 ml x 75 000 F CFA /ml = 67 500 000 F CFA

Rues pavées = 471 790 000 F CFA + 67 500 000 F CFA = 539 290 000 F CFA

→ *Coût des rues en perrés maçonnés*

Coût perrés maçonnées : 15 000 F CFA /m²

- Rues de 3 m de large = 930 ml x 3 x 25 000 F CFA /ml = 41 850 000 F CFA

Coût total perrés maçonnés = 41 850 000 F CFA

→ **Caniveau et avaloir**

Coût des fouilles par ml = $2,25 \times 1\,300 = 2\,925$ F CFA

Coût du béton armé par ml = $1,2 \times 130\,000$ F = 156 000 F CFA

Coût total par ml de caniveau = $156\,000$ F CFA + $2\,925$ F CFA = $158\,925$ F CFA
pour une longueur totale de caniveaux C1 et C2 de 2 480 ml

Coût total caniveau = 394 134 000 F CFA

→ **Plantation d'arbre**

Coût de plantation et d'entretien pour un arbre 600 F par pieds.

Coût total de plantation : 500×600 F = 300 000 F CFA

→ **Récapitulatif des coûts**

Designation	Montant
Compactage Longoussou	7 000 000
Caniveau Longoussou	394 134 000
Comblement Akalal et Tassala n'Goussou	159 000 000
Gabions	44 640 000
Comblement autres mares	63 495 000
Rue pavées	539 290 000
Rue perrés	41 850 000
Plantation	300 000
TOTAL GENERAL	1 249 709 000

NB : coûts des travaux si les travaux sont réalisés en entreprise

Études complémentaires et contrôle des travaux 7 % en sus.

PROGRAMME D'AMÉNAGEMENT

Au vu de ces éléments les travaux peuvent être programmés en trois ensembles.

1er ensemble

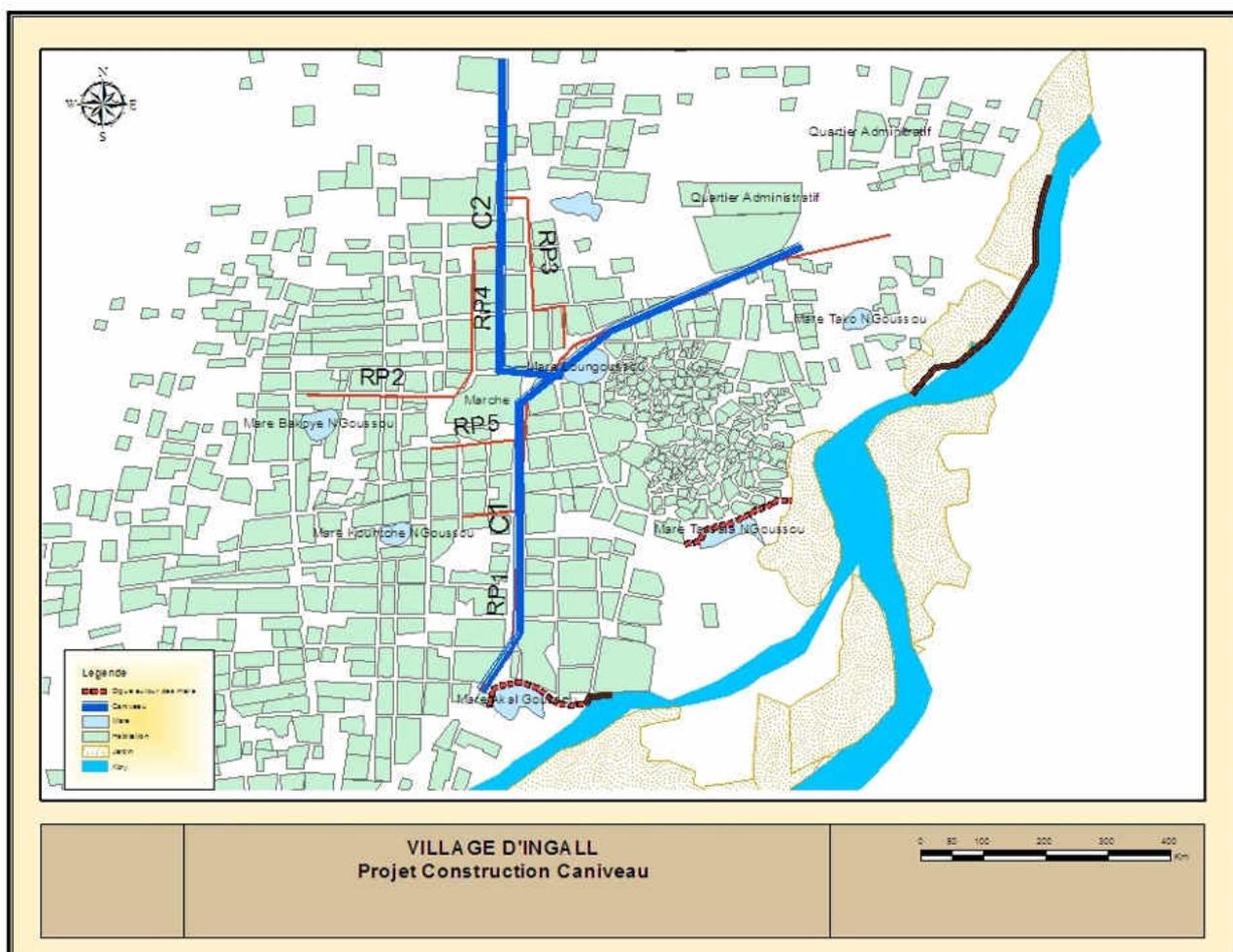
- Travaux autour de la mare Tassala n'Goussou
- Construction des rues en perrés maçonnées sur les rues secondaires drainantes
- Travaux mare Akalal n'Goussou

2ème ensemble

- Mare Longoussou
- Construction des rues en pavées autobloquants sur les rues principales
- Construction des caniveaux

3ème ensemble

- remblaiement des autres mares
- plantation des arbres



Mise en œuvre

Au vu de leur complexité technique les travaux doivent être exécutés en entreprise avec un contrôle technique assuré par un bureau d'étude agréé. Pour cela les acteurs doivent être constitués en quatre parties :

Partie 1 : Maîtrise d'ouvrage

Cette partie sera composée de :

- Maître d'ouvrage : Mairie d'Ingall qui sera porteur du projet qui sera chargé de la publication de l'appel d'offre pour recruter le maître d'œuvre et l'entreprise qui exécutera les travaux. La mairie sera assistée par ses services techniques pour le suivi de l'exécution du projet,
- Maître d'ouvrage délégué : ONG ONADEL qui sera chargé de la conduite et la supervision des travaux du projet elle sera l'interlocuteur entre la Mairie et le bailleur des fonds.

Partie 2 : Le Bailleur de fond sera chargé du financement du projet.

Partie 3 : Maîtrise d'œuvre et contrôle des travaux

Un bureau d'études sera recruté par appel d'offre national ouvert et sera chargé de l'élaboration du dossier d'exécution, du dossier d'appel d'offre pour le recrutement de l'entreprise et le contrôle technique des travaux.

Partie 4 : Entreprise chargée de l'exécution des travaux qui sera recrutée par appel d'offre national ouvert.

→ **Durée des travaux**

La durée prévisionnelle du projet sera de 12 mois répartie comme suit :

- Phase 1 : Etudes complémentaires, Elaboration dossier d'exécution, dossier d'appel d'offre et recrutement de l'entreprise chargée de l'exécution des travaux. Cette phase durera 3 mois.
- Phase 2 : Exécution des travaux cette phase durera 9 mois et ne doit pas être exécuter durant la saison de pluie.

CONCLUSION

En conclusion nous avons trois mares qui sont les plus préoccupantes : Longoussou, Akalal n'Goussou et Tassala n'Goussou (les deux dernières sont en bordure d'un bras du Kory et communiquent entres elles). Les autres mares qui sont des anciennes carrières de banco abandonnées sont en voie de disparition naturellement avec des dépôts de sable et d'ordures (Kountché n'Goussou et Bakoye n'Goussou).

Nous avons deux types d'écoulements des eaux qui alimentent les mares :

- Les eaux de ruissellement du Kory qui sont à l'échelle du Bassin versant et alimentent les deux Mares (Akalal n'Goussou et Tassala n'Goussou). En cas des crues exceptionnelles ces eaux débordent dans la ville à travers deux passages. Nos calculs hydrologiques ont expliqué l'ampleur des crues qui inondent le village.
- Les eaux de ruissellements à l'échelle de la ville qui alimentent la mare Longoussou et toutes les autres mares. En effet une grande partie des eaux de ruissellement de la partie Sud-Ouest de la ville drainent vers la mare Longoussou et stagnent (pas de canal d'évacuation). Le manque de canal d'évacuation justifie le remplissage exceptionnel de cette mare seul le trop plein est évacuée à travers une voix qui passe par le château d'eau.

Le remplissage de toutes les mares à l'exception de celle de Akalal n'Goussou et Tassala n'Goussou qui sont en bordure du kory provient des eaux de ruissellement de la ville. La mare la plus préoccupante qui s'avère être Longoussou est essentiellement remplie à partir des eaux de ruissellement de la partie ouest du village. Ce remplissage est accentué ces dernières

années par des pluviométries annuelles en hausse liées au phénomène de changement climatique.

Les mares de Akalal n'Goussou et Tassala n'Goussou sont alimentées par les eaux de ruissellement de la ville et par les écoulements du Kory à cause de leur position en bordure de celui-ci.

En cas de crue exceptionnelle du Kory ses eaux débordent dans la ville et provoquent des inondations et dégâts dans les habitations. Cependant ces crues deviennent fréquentes ces dernières décennies.

L'analyse de tous ces phénomènes nous a conduit à proposer une option d'aménagement composée de trois parties :

- Partie 1 : Construction des caniveaux et remblayage des mares
- Partie 2 : Construction des rues en perrés maçonnées sur les rues secondaires drainantes
- Partie 3 : Construction des rues en pavées autobloquants sur les rues principales

Ces parties sont classées par ordre de priorité et pourront être exécutés indépendamment.

ANNEXES

- PROFILS KORY (Profils en long et profils en travers)
- PROFIL RUE PRINCIPALE R1
- PROFIL RUE R2 EVACUATION MARE LOUNGOUSSOU
- PROFIL RUELLES SECONDAIRE (RS1, RS2, RS3, RS4, RS5)