



**Etude de précision de l'aléa
mouvements de terrain dans les
zones à enjeux de la commune de
Sada (Mayotte) par intégration du
MNT (IGN 2008) et de la
cartographie géologique simplifiée**

Rapport final

BRGM/RP-60693-FR

Décembre 2011



Etude de précision de l'aléa mouvements de terrain dans les zones à enjeux de la commune de Sada (Mayotte) par intégration du MNT (IGN 2008) et de la cartographie géologique simplifiée

Rapport final

BRGM/RP-60693-FR
Décembre 2011

Étude réalisée dans le cadre des projets de
Service public du BRGM 2011 - 11RISH11

OPPERMANN A., TARDY D.

Vérificateur :

Nom : Christophe GARNIER

Date : 05/01/2012

Signature : 

Approbateur :

Nom : Pascal PUVILLAND

Date : 06/01/2012

Signature : 

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

Mots clés : aléas, mouvements de terrain, glissement, chute de blocs, géologie, cartographie, MNT, Sada, Mayotte, Océan Indien.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

OPPERMANN A., TARDY D. (2011) - Etude de précision de l'aléa mouvements de terrain dans les zones à enjeux de la commune de Sada (Mayotte) par intégration du MNT (IGN 2008) et de la cartographie géologique simplifiée. Rapport – BRGM/RP-60693-FR, 49 p, 7 illustrations, 2 tableaux, 1 carte A0 hors texte

© BRGM, 2011, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques naturels de la commune de Sada, le BRGM a réalisé une cartographie de l'aléa mouvements de terrain sur l'ensemble de la commune. Les niveaux et critères d'aléa ont été déterminés en fonction de la nature géologique des matériaux, de la géomorphologie et des indices d'instabilité relevés sur le terrain. Ce travail est basé sur une méthodologie qui consiste notamment à croiser des classes de matériaux avec des valeurs de pente moyenne définies en fonction des caractéristiques géomécaniques des matériaux rencontrés.

L'objectif de cette étude est d'améliorer la précision du zonage de l'aléa mouvements de terrain du PPR dans les zones à enjeux de Sada en utilisant la cartographie géologique effectuée en 2010 ainsi que le Modèle Numérique de Terrain (MNT) de l'IGN datant de fin 2008 (maille de 1 m et précision de 10 cm).

Au total, 72 secteurs ont été analysés sur la commune de Sada. Parmi ces secteurs, 51 ont fait l'objet d'une visite de terrain, ils sont tous situés dans les zones dites « à enjeux » ou juste en périphérie de celles-ci. Les 21 autres secteurs qui n'ont pas fait l'objet d'une visite de contrôle sont pour la plupart localisés en dehors des zones à enjeux. Si pour certains de ces secteurs, une visite n'a pas été possible car ils sont difficilement accessibles, pour d'autres, les connaissances antérieures (notes techniques, rapports, campagne de terrain, etc.) ont été suffisantes. Enfin, les secteurs identifiés comme berges de ravines ou cours d'eau n'ont pas été visités dans la mesure où l'aléa érosion de berges et instabilités associées est pris en compte dans l'aléa inondation.

Concernant la précision du zonage des aléas mouvements de terrain, 48 des 72 secteurs ont bénéficié d'une modification du zonage des aléas mouvements de terrain soit 29 surclassements et 19 déclassements. Pour les 24 autres secteurs, la visite de terrain a conforté le zonage initial (2010) des aléas mouvements de terrain. En termes de superficie de terrain concerné par ces modifications du zonage des aléas mouvements de terrain au sein des zones à enjeux, 1,8 ha ont été déclassés d'aléa fort à moyen et, au total, 2,3 ha supplémentaires ont été classés en aléa moyen. La superficie totale des terrains concernés par un aléa de niveau modéré a diminué de 0,15 ha.

Au final, l'intérêt d'une telle démarche est satisfaisant dans la mesure où elle permet à la fois de valider en partie le travail de cartographie initial et de préciser le zonage dans certains secteurs à « enjeux ». Il conviendra à l'avenir de généraliser cette démarche à l'ensemble des communes concernées par la réalisation d'une cartographie précise des aléas (PPR), soit pour les futurs PPR, soit pour la révision des PPR finalisés. Pour cela, la nouvelle carte géologique de Mayotte, dont le rendu à l'échelle du 1/25 000 est prévu pour le deuxième semestre 2012, est basée sur des levés géologiques de terrain permettant un travail de croisement avec le MNT semblable à la présente étude.

Sommaire

1. Introduction	7
2. Données de base	9
2.1. LE MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN (MNT)	9
2.2. LA CARTE GEOLOGIQUE SIMPLIFIEE DE 2010 DANS LES ZONES A ENJEUX DE SADA	9
2.3. LA CARTE DES ALEAS MOUVEMENTS DE TERRAIN	9
3. Périmètre d'étude	13
4. Méthodologie	15
4.1. TRAITEMENT INFORMATIQUE	15
4.2. INTERPRETATION ET HARMONISATION DES DONNEES	17
4.3. VALIDATION SUR LE TERRAIN ET VISITES DES ZONES D'INCERTITUDES	19
5. Résultats et conclusion	23
6. Bibliographie	25

Liste des illustrations

Illustration 1. Périmètre d'étude, zones dites « à enjeux » correspondant au zones U et AU du PLU de Sada (décembre 2011).	13
Illustration 2. Etape de la méthodologie pour la requalification des aléas mouvements de terrain à l'aide de la calculatrice raster sous ArcGIS.	16
Illustration 3. Carte de l'aléa mouvements de terrain de niveau fort « théorique » issu du traitement informatique dans les zones à enjeux.	17
Illustration 4. Exemple de limites d'un micro-bassin de risque	18
Illustration 5. Superposition de l'aléa fort « théorique » avec le zonage des aléas MVT de novembre 2010.	19
Illustration 6. La visite de terrain a permis de modifier le zonage des aléas MVT en surclassant le niveau d'intensité de l'aléa (de moyen – illustration du haut, à fort –	

illustration du bas). En cause, le talus routier présente des indices d'instabilités (forte érosion, rejet d'eau) et il n'est pas conforté.....	21
Illustration 7. La visite de terrain a permis de modifier le zonage des aléas MVT en déclassant le niveau d'intensité de l'aléa (de fort – illustration du haut, à moyen – illustration du bas). La mise en place d'un ouvrage de soutènement (mur) entraîne une réduction de l'intensité de l'aléa en jeu.....	22

Liste des tableaux

Tableau 1. Classification des matériaux rencontrés sur la zone d'étude de Sada et correspondance en terme d'aléa selon la méthodologie de cartographie des aléas mouvements de terrain dans les PPR	11
Tableau 2. Secteurs analysés pour la précision du zonage des aléas MVT sur la commune de Sada.....	23

Liste des annexes

Annexe 1 Critères de distinction entre aléas mouvements de terrain de niveau moyen et fort.....	27
Annexe 2 Carte géologique simplifiée dans les zones à enjeux de Sada, élaborée au 1/5 000	33
Annexe 3 Carte des aléas mouvements de terrain d'après l'étude de 2010, élaborée au 1/5 000	37
Annexe 4 Superposition des couches d'aléas MVT (aléa fort « théorique » et zonage des aléas de 2010) et des secteurs analysés	41
Annexe 5 Descriptif des secteurs analysés sur la commune de Sada	45

1. Introduction

Dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques naturels de la commune de Sada, le BRGM a réalisé une cartographie de l'aléa mouvements de terrain (glissements de terrain et chutes de blocs) sur l'ensemble de la commune. Les niveaux d'aléa ont principalement été déterminés en fonction de la nature géologique des matériaux, de la géomorphologie et des indices d'instabilité relevés sur le terrain (outre d'éventuels facteurs aggravants tels que les rejets d'eau, etc.). La cartographie de l'aléa mouvements de terrain pour le PPR a été réalisée à l'échelle du 1/5 000 en zones dites « à enjeux » (zones U et AU selon le PLU de la commune), et du 1/10 000 en dehors des zones « à enjeux » (correspondant aux zones A et N), à partir des fonds topographiques les plus récents disponibles lors de la réalisation de l'étude entre 2007 et 2008 (Scan25 de l'IGN).

Dans les zones à enjeux, des investigations de type expertise naturaliste ont été menées afin d'ajuster le zonage à l'échelle de rendu (1/5 000) et particulièrement la limite entre les niveaux moyen et fort de l'aléa mouvements de terrain. Ce travail détaillé a été basé sur une méthodologie¹ synthétisée par le tableau présenté en Annexe 1. La méthodologie a notamment consisté à croiser des classes de matériaux avec des valeurs de pente moyenne définies en fonction des caractéristiques géomécaniques des matériaux.

En complément de ce travail de cartographie, à la demande de la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DEAL) de Mayotte, le BRGM a mené en 2010 une étude géologique² dans les zones à enjeux de Sada dans le but de réaliser une cartographie géologique simplifiée à l'échelle du 1/5 000 en s'appuyant du point de vue méthodologique sur l'étude préliminaire de Doujani³ (Mamoudzou) achevée en 2009.

L'objectif de la présente étude est d'améliorer la précision du zonage de l'aléa mouvements de terrain du PPR dans les zones à enjeux de Sada en utilisant d'une part la cartographie géologique effectuée en 2010 et d'autre part le Modèle Numérique de Terrain (MNT) de l'IGN datant de fin 2008 (maille de 1 m et précision de 10 cm). La combinaison de ces deux types de données doit permettre dans un premier temps (§ 4.1) de proposer une cartographie des aléas mouvements de terrain de façon « automatisée » par traitement sous SIG et, dans un second temps (§ 4.2), d'harmoniser cette cartographie en tenant compte de la notion de « bassin de risque » ou « micro-bassin » de risque.

¹ Cf. Procès-verbal du Compte-rendu de mission commune CETE/BRGM pour la mise au point de la méthodologie de cartographie de l'aléa mouvements de terrain à Mayotte, du 30 mai 2008

² A. Oppermann, J. Bernard, B. François, JM. Baltassat, C. Mathon (2010) - Méthodologie de la reconnaissance du régolite sur les zones à enjeux : projet pilote sur Sada. Rapport – BRGM/RP-59117-FR

³ C. Cluzet, A. Oppermann, C. Mathon, JM. Baltassat, A. Bitri, B. François, E. Jaques (2009) - Projet Régolite : Phase de test sur le site urbanisable de Doujani (commune de Mamoudzou, Mayotte). Rapport – BRGM/RP-57275-FR

Enfin, un travail de terrain complémentaire permettra (1) d'évaluer l'aléa dans certaines zones d'incertitudes en fonction des autres paramètres méthodologiques (indices d'instabilités, facteurs aggravants) et (2) de valider le zonage issu du croisement (§ 4.3).

2. Données de base

2.1. LE MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN (MNT)

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) utilisé dans le cadre de cette étude est celui de 2008, acquis par le Conseil Général de Mayotte et l'Etat auprès de l'IGN. Ce MNT fournit une mesure de l'altitude à une précision de l'ordre du décimètre, à une maille de 1 m sur l'ensemble des terres émergées. Une version actualisée de ce MNT (correction des valeurs d'altitude dans les zones urbaines) a été fournie par l'IGN au mois de novembre 2011 à la demande de la DEAL de Mayotte, et a été utilisée dans le cadre de cette étude.

2.2. LA CARTE GEOLOGIQUE SIMPLIFIEE DE 2010 DANS LES ZONES A ENJEUX DE SADA

La typologie de l'aléa mouvements de terrain (glissements de terrains ou chutes de blocs, ou association des deux dans la mesure où la manifestation d'un type d'instabilité s'accompagne fréquemment – au moins potentiellement – d'une instabilité de nature autre), est directement conditionnée par la nature du sol. Ainsi, dans le cadre de la méthodologie de reconnaissance du régolite sur les zones à enjeux à Sada (*Opperman et al, 2010*), une cartographie géologique simplifiée a été réalisée à l'échelle du 1/5 000, à l'instar de la cartographie des aléas mouvements de terrain élaborée pour le PPR de la commune. Cette cartographie géologique des formations superficielles est directement basée sur des levés géologiques de terrain, pédestres et systématiques sur toute la zone d'étude. Les investigations ont été menées dans une démarche de type expertise naturaliste et se sont appuyées sur les connaissances scientifiques disponibles au moment de l'étude. La carte est présentée en Annexe 2.

Au final, cette carte permet de faire le lien entre les matériaux rencontrés sur le site avec la classification en 5 classes (Annexe 1), chacune de ces classes correspondant à un type de mouvement de terrain dominant (glissements ou chutes de blocs).

2.3. LA CARTE DES ALEAS MOUVEMENTS DE TERRAIN

Trois principales étapes ont été mises en œuvre pour arriver à la cartographie de l'aléa MVT sur la commune de Sada, présentée en Annexe 3 :

- Dans un premier temps, le travail effectué dans le cadre de l'atlas des aléas⁴ réalisé de 2001 à 2004 a été repris. En effet, le zonage des atlas (1/10 000 dans zones à enjeux et 1/25 000 dans zones hors enjeux) a été un préalable précieux et un document de base.

⁴ J.-C. Audru, J.-F. Desprats, G. Euchet, O. Jossot, C. Mathon, J.-L. Nédellec, J.-P. Rançon, O. Sedan et N. Zornette, avec la collaboration de S. Guillobez (Cirad), de P. Daniel et de B. Haie (Météo-France) : Atlas des aléas naturels à Mayotte, Communes de Chiconi, Ouangani, Sada et Chirongui.

- Dans un second temps, à partir de la cartographie des atlas et dans le cadre de la mise en œuvre des procédures PPR, un travail de terrain complémentaire a été effectué selon une méthodologie type expertise naturaliste afin d'ajuster le zonage à l'échelle du 1/5 000 utilisé dans les zones à enjeux. Ce travail (mené en 2008) s'est appuyé sur une méthodologie établie de façon conjointe entre la DEAL de Mayotte (service instructeur du PPR), le CETE (conseil du service instructeur) et le BRGM (en charge de l'élaboration du PPR) (cf. grille méthodologique en Annexe 1, destiné notamment à préciser les critères de qualification des niveaux d'aléas moyen et fort et ainsi rendre aussi objective que possible la délimitation entre zones vouées à être « inconstructibles » et zones susceptibles d'être urbanisées.
- Enfin, lors de l'étude de 2010, il a été possible d'établir des relations entre les lithologies identifiées dans le cadre de l'élaboration de la carte géologique simplifiée de Sada et les classes « génériques » de matériaux proposées dans le tableau méthodologique en Annexe 1. Le Tableau 1 présente ainsi les correspondances proposées entre les 5 classes définies par la grille méthodologique générale de l'aléa MVT et les lithologies rencontrées sur le périmètre de la carte géologique de Sada. Cette corrélation a permis (1) d'améliorer la compréhension du zonage des aléas, (2) d'explicitier le choix de la typologie de l'aléa et donc de justifier les dispositions réglementaires prévues dans les différentes zones de risques directement liées à la nature du ou des phénomènes en jeu, (3) d'affiner le zonage des aléas dans la mesure où les limites des classes de terrain correspondent fidèlement aux limites de phénomènes dominants.

	Aspects	Types	Aléas
Classe 1	Matériaux remaniés	Alluvions (A)	Glissements de terrains dominants accompagnés de chutes de blocs
Classe 2	Matériaux meubles	Colluvions latéritiques (CL) Allotérites supposées (L)	Glissements de terrain
		Colluvions latéritiques à blocs (CLb) Saprolites II (S2) Dépôts phréato-magmatiques (Ph)	Glissements de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs
Classe 3	Matériaux meubles (argilites)	Pas d'argilites rencontrées en surface dans la zone d'étude	
Classe 4	Matériaux raides	Saprolites I (S1) Chaos de blocs (Cb) Colluvions latéritiques à blocs (CLb)	Chutes de blocs dominantes accompagnées de glissements de terrain
Classe 5	Roche saine	Roche saine (R)	Chutes de blocs

Tableau 1. Classification des matériaux rencontrés sur la zone d'étude de Sada et correspondance en terme d'aléa selon la méthodologie de cartographie des aléas mouvements de terrain dans les PPR⁵.

⁵ Cf. *Tableau 3* du Rapport BRGM/RP-59117-FR – A. Oppermann, J. Bernard, B. François, JM. Baltassat, C. Mathon (2010) - Méthodologie de la reconnaissance du régolite sur les zones à enjeux : projet pilote sur Sada.

3. Périmètre d'étude

La zone d'étude correspond à toutes les zones dites « à enjeux » de la commune de Sada. En terme de superficie, d'après le PLU de la commune de Sada transmis par la DEAL de Mayotte au BRGM, la totalité de ces zones correspond à environ 1,9 km². Sont prises en compte dans ces zones « à enjeux » :

- **Les zones U** (zones urbaines denses, zones urbaines mixtes, zones urbaines résidentielles)
- **Les zones AU** (zones d'urbanisation future à court, moyen ou long terme, zones d'urbanisation future à vocation touristique)

Ces zones ont été utilisées pour la cartographie des aléas au moment de l'élaboration du PPR de la commune et également pour la cartographie géologique simplifiée de 2010.

On retiendra que les secteurs en périphérie de ces zones à enjeux ont dans une certaine mesure également fait l'objet d'une analyse par croisement entre la géologie simplifiée et le MNT. L'illustration suivante montre l'étendue de la zone d'étude.



Illustration 1. Périmètre d'étude, zones dites « à enjeux » correspondant au zones U et AU du PLU de Sada (décembre 2011).

4. Méthodologie

4.1. TRAITEMENT INFORMATIQUE

La démarche de requalification des aléas mouvements de terrain par traitement informatique fait intervenir deux couches sous le logiciel SIG (Système Information Géographique) ArcGIS® (ESRI) : **la lithologie** et **la pente**. Le but est de confronter ces deux couches en fonction des valeurs de pente, paramètre (parmi d'autres) fondamentale dans l'évaluation du niveau d'aléa mouvements de terrain.

La couche « classes_matériaux_raster.tif » représente la couche de lithologie et plus précisément les quatre classes de matériaux rencontrées lors de l'étude de 2010 et définies en Annexe 1 (Figure 1) (la classe 3 n'étant pas présente sur le secteur étudié). Pour chacune de ces classes et conformément à la grille de critères méthodologiques (Annexe 1 – Figure 2), un seuil de pente, correspondant à un degré de pente limite en fonction de la stabilité du matériau, a été attribué. Par exemple, pour les matériaux de classe 1, une instabilité est considérée pour des pentes supérieures à 20° tandis que pour des matériaux de classe 4 elle sera fixée à 35°. Ainsi le raster représentant les classes de matériaux est qualifié en fonction de ces seuils de pente. Ces valeurs seuils, spécifiques à chaque classe de matériaux, définissent une **limite théorique** entre aléas de niveau fort et moyen.

La couche représentant la pente provient du MNT de la commune de Sada, à la maille 1 mètre et à la précision décimétrique. A partir ce de MNT, une carte des pentes a été produite avec des valeurs comprises entre 0 et 90°.

L'emploi de la calculatrice raster (cf. Illustration 2), outil de *Spatial Analyst* sous ArcGIS® (ESRI), permet de faire ressortir les zones où les pentes réelles obtenues à partir du MNT sont supérieures au seuil de pente imposé. Pour cela, la formule suivante a été entrée dans le logiciel :

$$[pentes.tif] \geq [classes_matériaux_raster.tif]$$

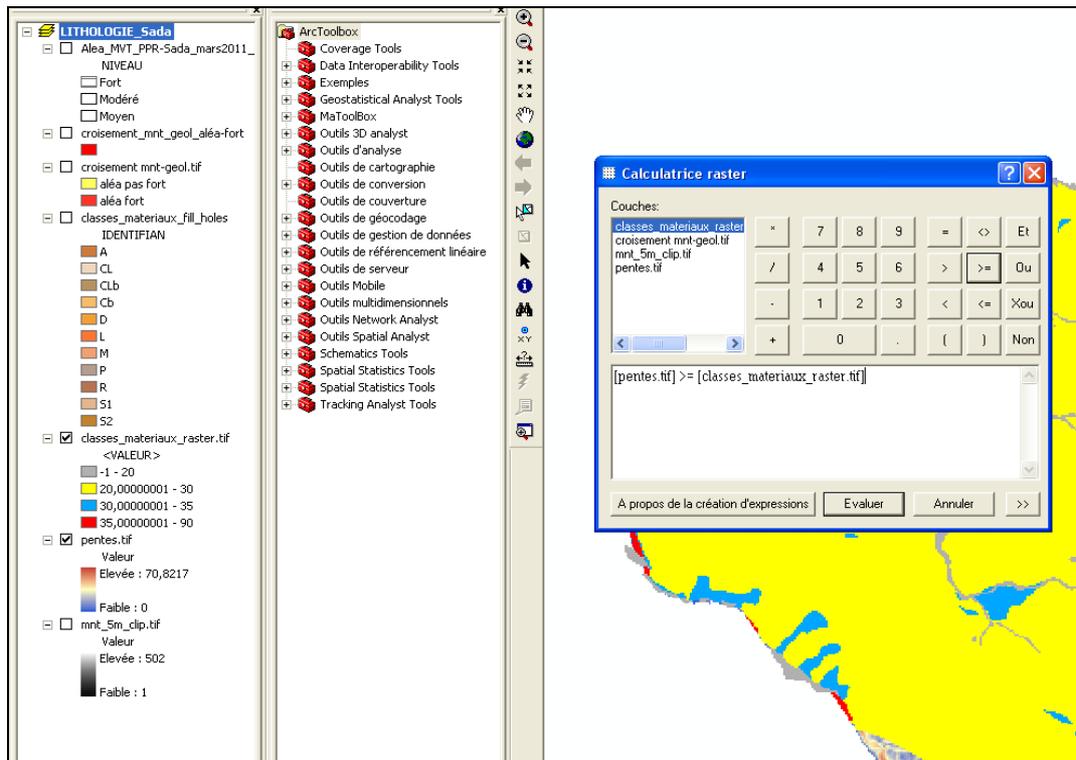


Illustration 2. Etape de la méthodologie pour la requalification des aléas mouvements de terrain à l'aide de la calculatrice raster sous ArcGIS.

Une nouvelle couche est alors créée pour laquelle les polygones obtenues correspondent à des zones théoriques de niveau fort d'aléa glissements de terrain et/ou chutes de blocs d'après les critères définis (cf. Illustration 3).

Les données « brutes » correspondant aux zones « théoriques » d'aléa fort mouvements de terrain ont par la suite été lissées et uniformisées à l'aide d'outils de traitement sous MapInfo®. Par ailleurs, les micro-polygones (polygones résiduels < 100 m²) créés par le croisement ont été supprimés.

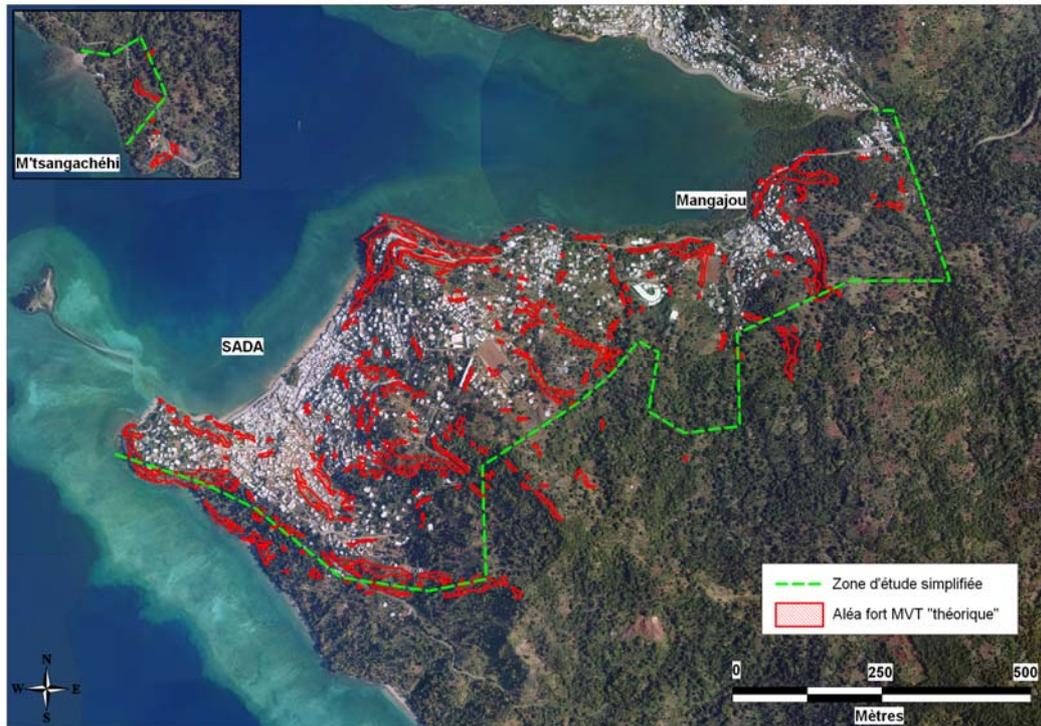


Illustration 3. Carte de l'aléa mouvements de terrain de niveau fort « théorique » issu du traitement informatique dans les zones à enjeux.

4.2. INTERPRETATION ET HARMONISATION DES DONNEES

Le zonage « théorique » des aléas mouvements de terrain de niveau fort, issu du traitement informatique, est ensuite comparé avec la carte des aléas mouvements de terrain de 2010 établie au 1/5 000 afin de localiser les secteurs qui ne concordent pas.

Ces derniers sont étudiés plus en détail à partir du MNT, en fonction de la notion de « bassin de risques » (Nedellec, 2007) et des connaissances de terrain antérieures (notes techniques, expertises sur site, etc.). En matière de mouvements de terrain, le « bassin de risques » ou « micro-bassin de risques », définit la zone de terrain ayant une relation directe ou indirecte sur la zone à aménager. Sont ainsi distingués pour un projet quelconque, (1) la zone sur laquelle sera réalisé le projet proprement dit, (2) les terrains en amont ou latéraux, (3) les terrains en aval ou latéraux. L'illustration suivante schématise les limites d'un « micro-bassin » de risques.

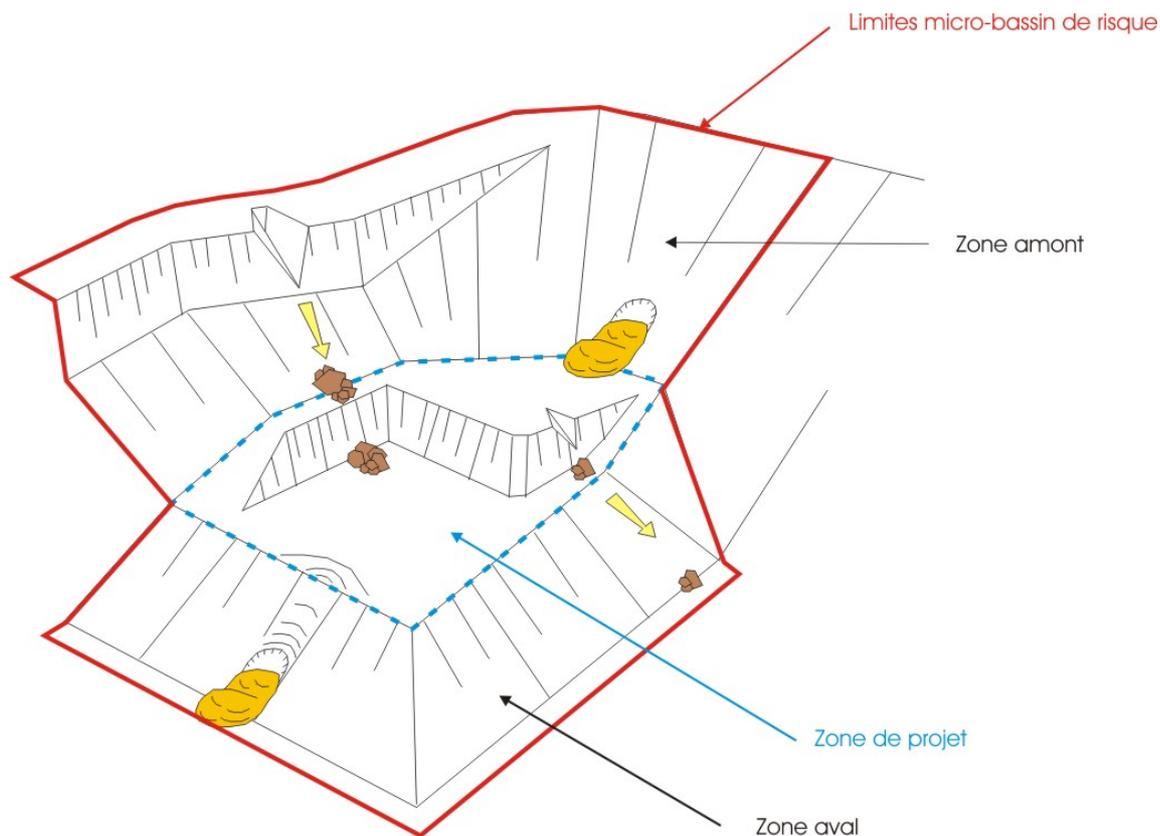


Illustration 4. Exemple de limites d'un micro-bassin de risque⁶

L'illustration suivante montre la superposition du zonage « théorique » d'aléa MVT fort avec le zonage des aléas MVT de novembre 2010 issu de l'étude sur Sada (Oppermann et al, 2010).

⁶ Cf. Illustration 2 du rapport BRGM/RP-55631-FR - J.L. Nedellec (2007) – Etablissement d'un cahier des charges pour engager des études en vue d'établir la faisabilité et les principes d'aménagement en zone exposée à l'aléa fort mouvements de terrain à Mayotte

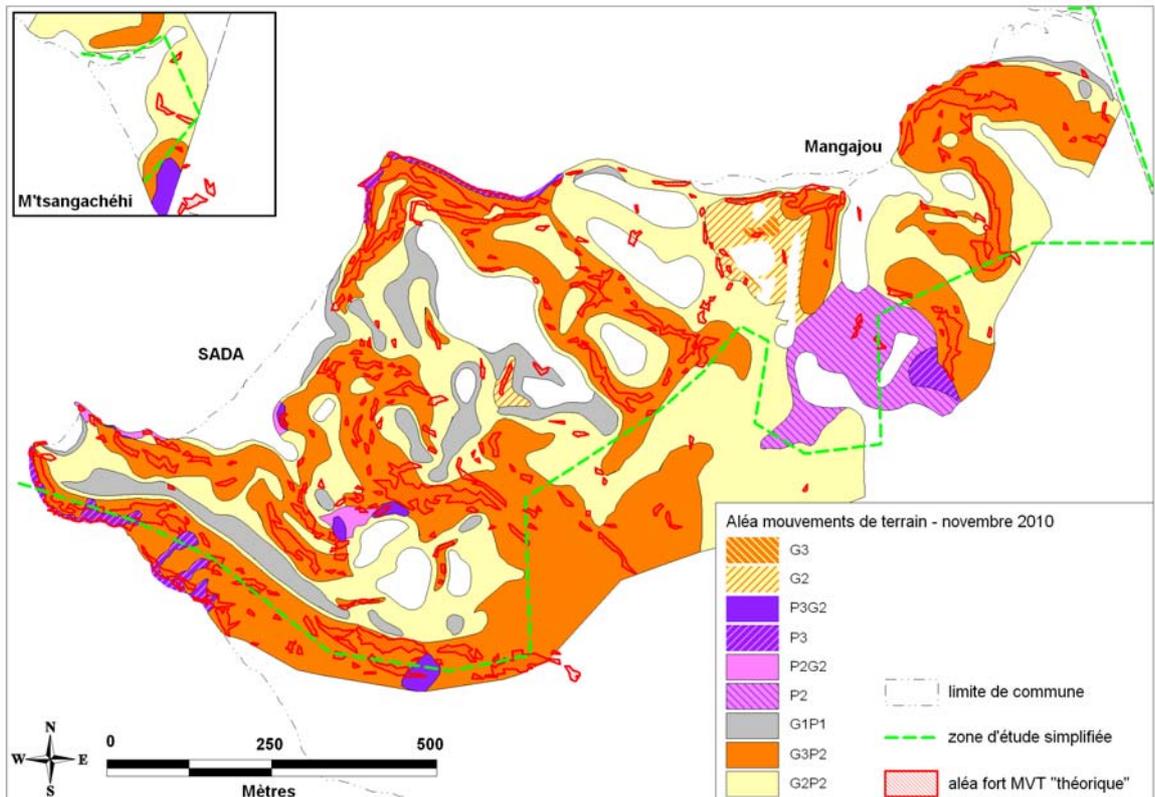


Illustration 5. Superposition de l'aléa fort « théorique » avec le zonage des aléas MVT de novembre 2010.

A première vue, la superposition entre ces deux couches fait apparaître des similitudes et tend à confirmer d'une manière générale le zonage des aléas MVT de 2010. Dans le détail, il est possible de repérer des secteurs pour lesquelles une démarche visant à préciser le zonage des aléas MVT est nécessaire en terme d'évaluation du niveau d'aléa, tant à la hausse qu'à la baisse.

Le croisement entre pente et lithologie fait également ressortir les berges des cours d'eau et des ravines particulièrement incisées. Ces secteurs n'ont pas fait l'objet d'une analyse particulière dans la mesure où l'érosion de berge et les instabilités associées sont traitées et prises en considération dans la qualification de l'aléa inondation.

4.3. VALIDATION SUR LE TERRAIN ET VISITES DES ZONES D'INCERTITUDES

En complément du travail d'étude à l'échelle du « bassin de risques » et des connaissances antérieures, une visite de terrain a été effectuée sur la quasi-totalité des secteurs compris dans les zones à enjeux afin d'ajuster le zonage et d'évaluer sur site le niveau d'aléa en fonction des paramètres méthodologiques (paramètres échappant à toute analyse SIG et nécessitant une validation terrain) tels que les indices d'instabilités, les facteurs aggravants, les écoulements d'eau, l'érosion, etc. La visite de terrain a également eu pour objectif de constater sur site les aménagements de type

ouvrages de soutènement (mur de soutènement, gabions, pneu-sol, etc.) dont la mise en place et la « conformité », ou la « non-conformité » (mur en parpaing, absences de barbacanes, gonflement, fissures, etc.) ont permis de réévaluer le niveau d'intensité de l'aléa (cf. Illustration 7).

Des zones d'incertitudes ont également fait l'objet d'une visite de contrôle dans la mesure où les connaissances du terrain (critères d'évaluation de l'aléa - cf. Annexe 1) n'étaient pas suffisantes et/ou le seul critère de pente ne suffisait pas.

Hormis le fait que les indices d'instabilités (ravinement, présence de blocs, bourrelets, etc.) et autres facteurs aggravants (occupations du sol, rejet d'eau, végétation, etc.) soient uniquement repérables lors d'une visite de terrain, la campagne d'acquisition des données pour le MNT s'étant déroulée au cours de l'année 2008, des changements ont d'ores et déjà pu apparaître dans le paysage, modifiant ainsi de façon plus ou moins significative la topographie (terrassements, modification du tracé de la ravine, etc.).

Les illustrations suivantes mettent en évidence des secteurs dont les visites de terrain ont permis de modifier le zonage des aléas MVT, soit en surclassant le niveau d'intensité de l'aléa soit en le déclassant.

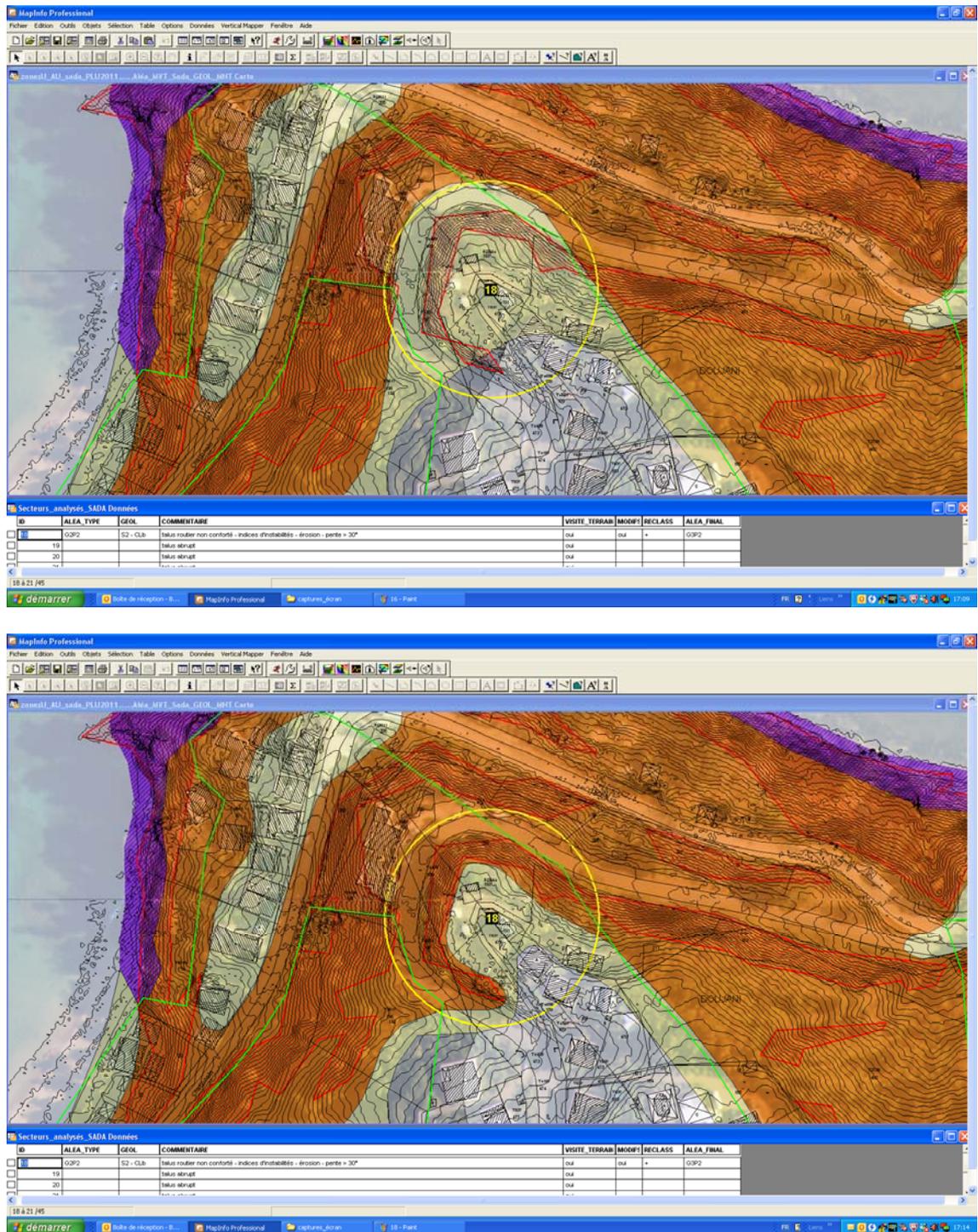


Illustration 6. La visite de terrain a permis de modifier le zonage des aléas MVT en surclassant le niveau d'intensité de l'aléa (de moyen – illustration du haut, à fort – illustration du bas). En cause, le talus routier présente des indices d'instabilités (forte érosion, rejet d'eau) et il n'est pas conforté.

Etude de précision de l'aléa mouvements de terrain dans les zones à enjeux de la commune de Sada (Mayotte) par intégration du MNT (IGN 2008) et de la cartographie géologique simplifiée

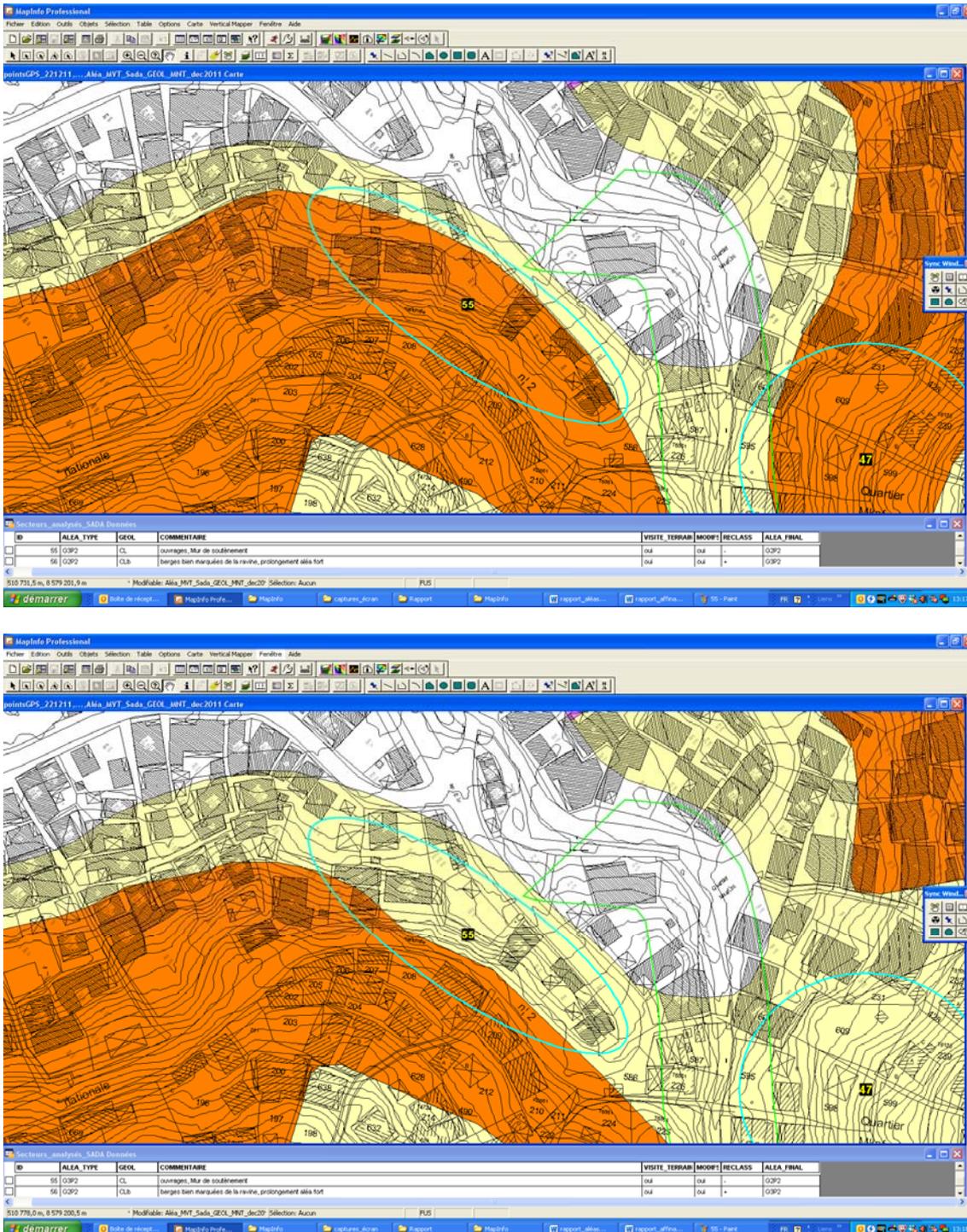


Illustration 7. La visite de terrain a permis de modifier le zonage des aléas MVT en déclassant le niveau d'intensité de l'aléa (de fort – illustration du haut, à moyen – illustration du bas). La mise en place d'un ouvrage de soutènement (mur) entraîne une réduction de l'intensité de l'aléa en jeu.

5. Résultats et conclusion

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats de la démarche relative à l'étude de précision du zonage des aléas mouvements de terrain, sur les seules zones à enjeux, à partir du croisement entre les données géologiques de terrain et le MNT, sur la commune de Sada :

Secteurs analysés sur la commune de SADA							
Avec visite			Sans visite			TOTAL	
51			21			72	
Reclassement	+	-	=	+	-	=	Modifications
	22	16	13	7	3	11	48

Tableau 2. Secteurs analysés pour la précision du zonage des aléas MVT sur la commune de Sada

Parmi les **72 secteurs analysés** sur la commune de Sada, **51 ont fait l'objet d'une visite de terrain**, ils sont tous situés dans les zones dites « à enjeux » ou juste en périphérie de celles-ci (cf. Annexe 4). Les **21 autres secteurs n'ont pas fait l'objet d'une visite de contrôle**, ces secteurs sont pour la plupart localisés en dehors des zones à enjeux. Si pour certains de ces secteurs, une visite n'a pas été possible car ils sont difficilement accessibles, pour d'autres, les connaissances antérieures (notes techniques, rapports, campagne de terrain, etc.) ont été suffisantes. Enfin, les secteurs identifiés comme berges de ravines ou cours d'eau n'ont pas été visités dans la mesure où l'aléa érosion de berges et instabilités associées est pris en compte dans l'aléa inondation. Une description de chaque secteur est présentée en Annexe 5.

Au total, sur ces 72 secteurs, **48 ont bénéficié d'une modification** du zonage des aléas mouvements de terrain soit 29 surclassements et 19 déclassements. Pour les 24 autres secteurs, la visite de terrain a permis de visualiser des éléments justifiant le zonage initial (2010) des aléas mouvements de terrain.

En termes de superficie de terrain concernée par ces modifications du zonage des aléas mouvements de terrain au sein des zones à enjeux, 1,8 ha de terrain ont été déclassés d'aléa fort à moyen et, au total, 2,3 ha de terrain supplémentaires ont été classés en aléa moyen. La superficie totale des terrains concernés par un aléa de niveau modéré a diminué de 0,15 ha.

La carte des aléas mouvements de terrain établie dans le cadre du PPR de la commune de Sada a été modifiée en conséquence et est fournie en format A0 avec ce rapport.

Au final, l'intérêt d'une telle démarche est satisfaisant dans la mesure où elle permet à la fois de valider en partie le travail de cartographie initial et de préciser le zonage dans

certains secteurs à « enjeux ». Il conviendra à l'avenir de généraliser cette démarche à l'ensemble des communes concernées par la réalisation d'une cartographie précise des aléas (PPR), soit pour les futurs PPR, soit pour la révision des PPR finalisés. Pour cela, la nouvelle carte géologique de Mayotte, dont le rendu à l'échelle 1/25000 est prévu pour le deuxième semestre 2012, est basée sur des levés géologiques de terrain permettant un travail de croisement avec le MNT semblable à la présente étude.

6. Bibliographie

Audru J.C., Desprats J.-F., Euchet G., Jossot O., Mathon C., Nédellec J.-L., Rançon J.-P., Sedan O. et Zornette N., avec la collaboration de Guillobez S. (Cirad), de Daniel P. et de Haie B. (Météo-France) (2004) : Atlas des aléas naturels à Mayotte, Communes de Chiconi, Ouangani, Sada et Chirongui. Rapport BRGM/RP-52662-FR

BRGM – Note de présentation du PPR de Sada (en cours d'élaboration)

Cluzet C., Oppermann A., Mathon C., Baltassat JM., Bitri A., François B., Jaques E. (2009) - Projet Régolite : Phase de test sur le site urbanisable de Doujani (commune de Mamoudzou, Mayotte). Rapport – BRGM/RP-57275-FR

Oppermann A., Bernard J., François B., Baltassat JM., Mathon C. (2010) - Méthodologie de la reconnaissance du régolite sur les zones à enjeux : projet pilote sur Sada. Rapport – BRGM/RP-59117-FR

Mathon C. (2006) – Commune de Sada - Définition des aléas naturels dans le cadre d'un projet de RHI dans le quartier de M'Kaféni. Rapport BRGM/RC-54822-FR

Nédellec J.L. (2007) – Etablissement d'un cahier des charges pour engager des études en vue d'établir la faisabilité et les principes d'aménagement en zone exposée à l'aléa fort mouvements de terrain à Mayotte – Rapport BRGM/RP-55631-FR

Note 2010 SAR/Mayotte 04 – Précision sur le zonage de l'aléa mouvements de terrain au droit de la parcelle n°634 de la section AC sur la commune de Sada

Note 2009 SAR/Mayotte 10 – Etude de bassin de risque concernant le carrefour de Chiconi-Sada-Ouangani pour un projet d'extension de l'urbanisation

Note 2008 SAR/Mayotte 13 – Avis sur le projet de logements de la Gendarmerie de Sada et précisions de l'aléa "mouvements de terrain"

Note 2005 SAR/REU/Mayotte 01 – Avis technique concernant un déclassement de zone ND pour l'extension côté océan de la gendarmerie de Sada

Note 2004 SAR/REU/Mayotte 16 – Avis technique concernant une demande de déclassement pour le projet de CFP à Sada

Note 2004 SAR/REU/Mayotte 07 – Avis technique concernant une demande de permis de construire pour deux lots à Hazimambe, commune de Sada

Note 2003 SGR/REU/Mayotte 10 – Avis technique concernant une demande de certificat d'urbanisme pour la gendarmerie de Sada

Annexe 1

Critères de distinction entre aléas mouvements de terrain de niveau moyen et fort

	Aspects	Types
Classe 1	Matériaux remaniés	Colluvions, alluvions, remblais, etc.
Classe 2	Matériaux meubles	Altérites évoluées (i.e. à matrice prépondérante) Cendres, pyroclastites et cinérites non indurées
Classe 3	Matériaux meubles	Argilites (kaolinites et autres argiles d'altération)
Classe 4	Matériaux raides	Altérites à roches majoritaires (évolution provenant le plus souvent de la classe 5), pyroclastites ou autres brèches indurées
Classe 5	Roche saine	Roche saine non altérée (basaltes, phonolites, téphrites, etc.)

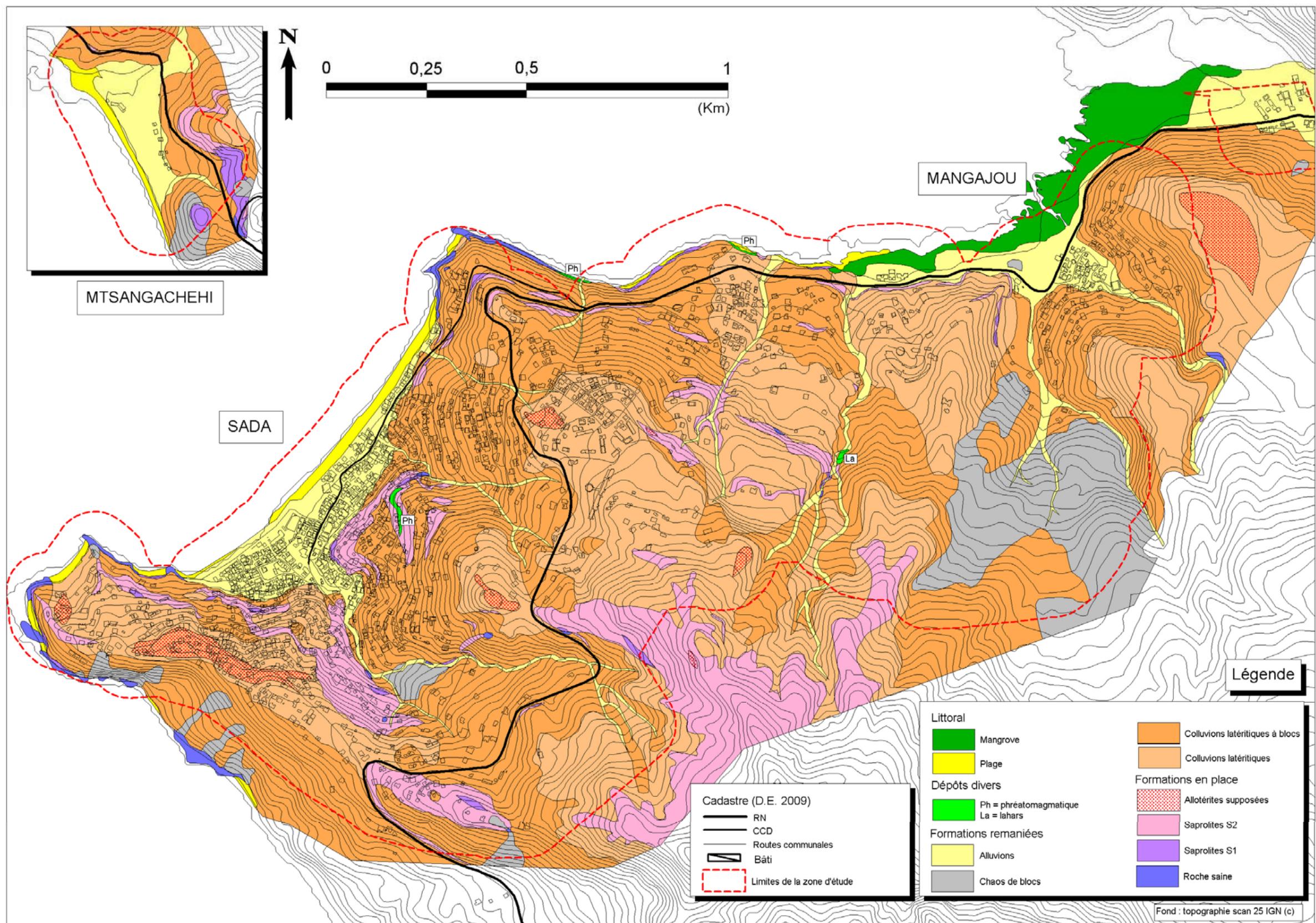
Fig.1. Classes de matériaux

Classes de matériaux	Pente (°) Hauteur d'escarpement (m)	Hydrologie (venues d'eau, écoulements, etc.)	Indices (relatifs à des instabilités dont l'ampleur dépasse impérativement les moyens d'un particulier pour s'en prémunir)		Facteurs aggravants (Végétation, rejet d'eau, érosion, etc.)	Niveau d'aléa	Codification
			Glissements (Bourrelet, moutonnement, arrachement, etc.)	Eboulements, chutes de blocs (Niveau de fracturation, sous cavage, ouverture des fractures, présence de blocs dans le versant, etc.)			
1	< 20° et < 3 m	O/N	N		O/N	Moyen	G2 ou G2P2
		O/N	O		O/N	Fort	G3 ou G3P2
	> 20° ou > 3 m	O/N	O/N		O/N	Fort	G3 ou G3P2
	> 20° et > 3 m	O/N	O/N		O/N	Fort	G3 ou G3P2
2	< 30° et < 5 m	O/N	N		N	Moyen	G2 ou G2P2
		O	O		O	Fort	G3 ou G3P2
	< 30° et > 5 m	O/N	O/N		O/N	Fort	G3 ou G3P2
	> 30° et < 5 m	O/N	O/N		O	Fort	G3 ou G3P2
	> 30° et > 5 m	O/N	O/N		O/N	Fort	G3 ou G3P2
3	> 20°	O/N	O/N		O/N	Fort	G3 ou G3P2
4	< 35° et < 5 m	O/N		O/N	O/N	Moyen	P2 ou P2G2
	> 35° ou > 5 m	O/N		O/N	O/N	Fort	P3 ou P3G2
	> 35° et > 5 m	O/N	O (au moins un des 2 types d'indices)		O/N	Fort	P3 ou P3G2
5	< 5 m			Fracturation, volume > 0,5 m ³	O/N	Moyen (si purge suffisante)	P2
						Fort (si autre parade)	P3
	> 5 m			Fracturation, volume de 0,2 m ³ , présence de blocs dans le versant	O/N	Fort	P3
	> 5 m			Paroi très saine, absence d'indice d'éboulement	O	Moyen	P2

Fig.2. Grille de critères de distinction entre aléas moyen et fort de type mouvements de terrain, pour chaque classe de matériaux

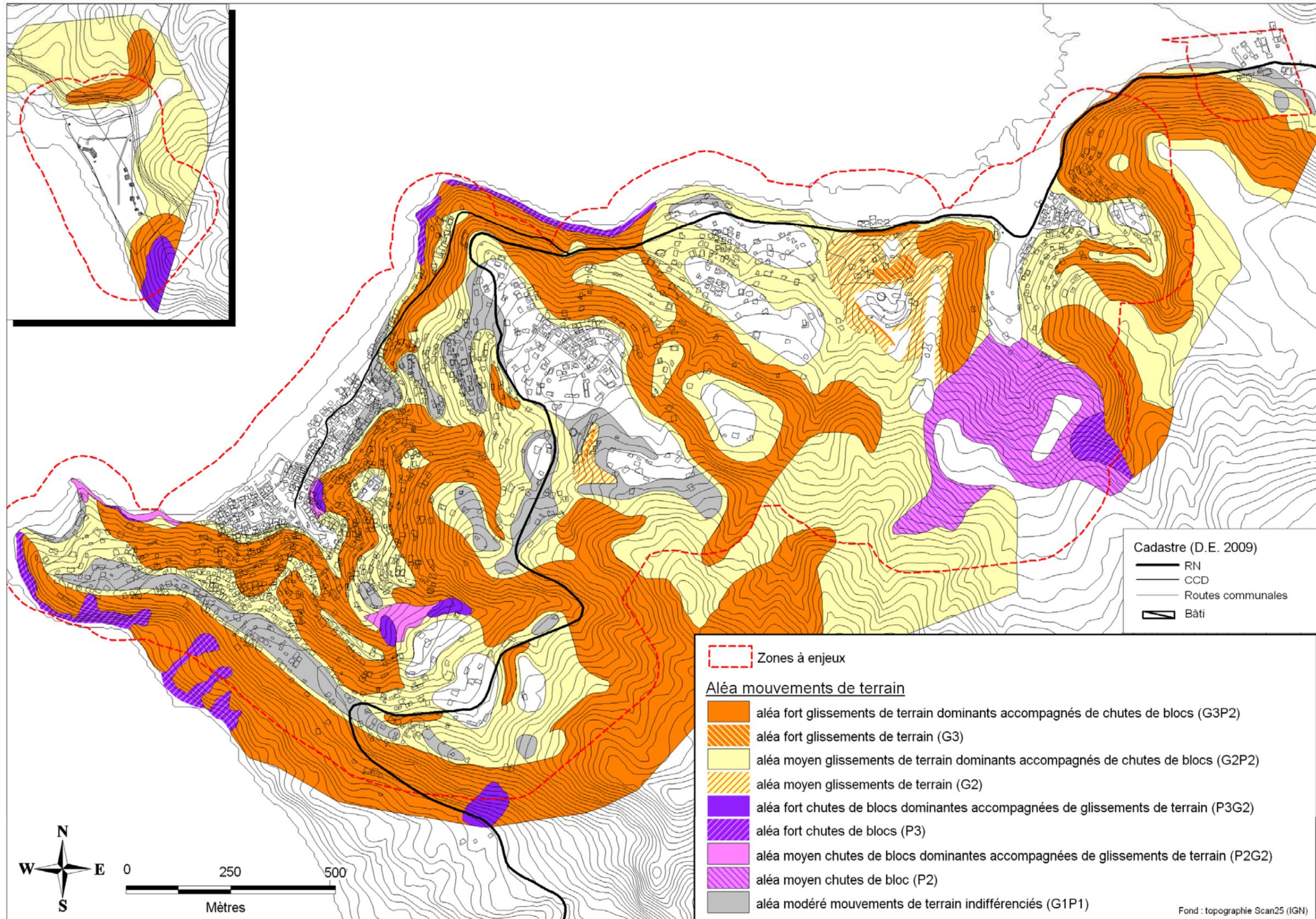
Annexe 2

Carte géologique simplifiée dans les zones à enjeux de Sada, élaborée au 1/5 000



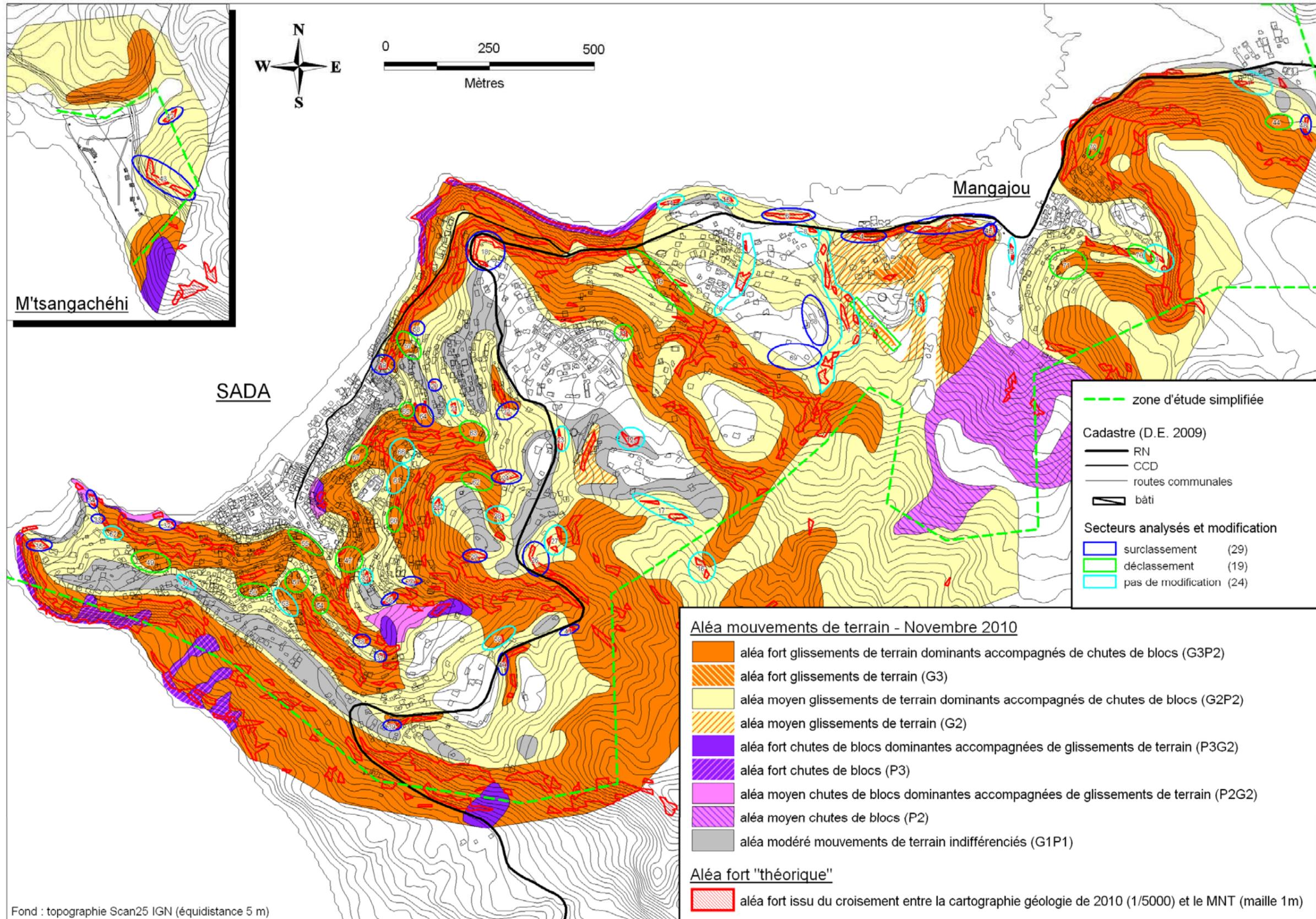
Annexe 3

Carte des aléas mouvements de terrain d'après l'étude de 2010, élaborée au 1/5 000



Annexe 4

Superposition des couches d'aléas MVT (aléa fort « théorique » et zonage des aléas de 2010) et des secteurs analysés



Annexe 5

Descriptif des secteurs analysés sur la commune de Sada

Etude de précision de l'aléa mouvements de terrain dans les zones à enjeux de la commune de Sada (Mayotte) par intégration du MNT (IGN 2008) et de la cartographie géologique simplifiée

ID	ALEA_TYPE	GEOL	COMMENTAIRE	VISITE_TER	MODIFS	RECLASS	ALEA_FINAL
1	G2P2	CLb	cf. note technique BRGM carrefour Sada : talus en arrière de la pharma conforté par mur de soutènement	non	non	=	G2P2
2	G2P2	S2 - CL	talus routier non conforté - traces de ravinement - érosion - pente > 30°	oui	oui	+	G3P2
3	G2P2	CLb	berges marquées --> aléa fort inondation // zone HE	non	non	=	G2P2
4	G2P2	S2 - CL	talus routier non conforté - traces de ravinement - érosion - pente > 30°	oui	oui	+	G3P2
5	G2P2	CL	talus > 5m - confortement (2 murs en escalier)	oui	non	=	G2P2
6	G2P2	CLb - S1	littoral - érosion - h > 5 m	non	oui	+	P3G2
7	G2P2	CLb - CL	ravine --> berges marquées - érosion pris en compte dans aléa INON	non	non	=	G2P2
8	G2P2	S2 - CLb	talus routier non conforté - pas d'indices d'instabilité	oui	non	=	G2P2
9	G2P2 et nul	CL - CLb	ravine --> berges marquées - érosion pris en compte dans aléa INON	non	non	=	G2P2 et nul
10	G2P2	CLb - S2	talus < 5m avec présence de blocs < 1m3 --> intensité de l'aléa limité // au centre - mur de soutènement mauvaise conception, mauvais état --> G3P2	oui	oui	-	G2P2
11	G2P2	CLb - CL	terrassement conforté - habitation en aval	oui	oui	-	G2P2
12	G1P1	remblais	terrassement conforté --> modéré OK	non	non	=	G1P1
13	nul	A	ravine --> berges marquées - érosion pris en compte dans aléa INON	non	non	=	nul
14	G2P2	CLb - S1	cf. Note 2008 SAR/Mayotte 13 : littoral - érosion - h < 5 m	non	non	=	G2P2
15	G2P2	D	littoral - érosion - h < 5 m	non	non	=	G2P2
16	G2P2	S2	saprolites compactes - glissement peu probable	non	non	=	G2P2
17	G2P2	S2	saprolites compactes - glissement peu probable	non	non	=	G2P2
18	G2P2	S2 - CLb	talus routier non conforté - indices d'instabilités - érosion - pente > 30°	oui	oui	+	G3P2
19	G2P2	CLb	talus > 5m en amont des habitations et commerces - mur de soutènement pour les commerces pas pour les maisons	oui	oui	+	G3P2
20	G2P2	CLb	effondrement du mur soutenant la route,- fissures sur la route parallèles au glissement	oui	oui	+	G3P2
21	G2P2	CLb	2 talus < 5m avec replat entre - présence de blocs	oui	non	=	G2P2
22	G2P2	CLb	talus > 5m non conforté - maison en aval	oui	oui	+	G3P2
23	G2P2	CLb	talus routier < 5m - saprolites compactes sous colluvions	oui	non	=	G2P2
24	G2P2	CLb	en amont confluence de deux ravines - pente > 30°	oui	oui	+	G3P2
25	G2P2	CLb	terrassement - construction directement en aval	oui	non	=	G2P2

Etude de précision de l'aléa mouvements de terrain dans les zones à enjeux de la commune de Sada (Mayotte) par intégration du MNT (IGN 2008) et de la cartographie géologique simplifiée

26	G2P2	S2 - CL	talus routier > 5m - très sensible à l'érosion --> profil d'altération complet	oui	oui	+	G3P2
27	G2P2	CLb	terrassement H=2m	oui	non	=	G2P2
28	G2P2	CL	MNT non conforme à la réalité	oui	non	=	G2P2
29	G2P2	S2	pente > 45° - cultures maraichères - forte érosion	oui	oui	+	G3P2
30	G2P2	CLb	pente > 30° - sans confortement	oui	oui	+	G3P2
31	G2P2	CLb	terrassement - secteur densément urbanisé	non	non	=	G2P2
32	G2P2	CLb	littoral --> prolongement aléa fort // zone HE	non	oui	+	P3G2
33	G2P2	S2 - CLb	talus abrupt - pente proche de 30°, cultures maraichères	oui	oui	+	G3P2
34	G2P2	CLb	littoral - pente > 30° --> prolongement aléa fort // zone HE	non	oui	+	G3P2
35	G2P2	CLb - CL	pente > 30° // zone HE	non	oui	+	G3P2
36	G1P1	CL	ouvrage de soutènement en place (mur en gabions)	oui	non	=	G1P1
37	G2P2	S2	habitation en tête de versant, indices d'instabilité - ravine en régime torrentiel, berges instables	oui	oui	+	G3P2
38	G2P2	S2	habitation en tête de versant, indices d'instabilité	oui	oui	+	G3P2
39	G2P2	S2	terrassement - talus < 5m mais mauvaise conception du mur de soutènement - indices d'instabilités en amont du mur (niches d'arrachement)	oui	oui	+	G3P2
40	G2P2	S2	talus routier - indices d'instabilité	oui	oui	+	G3P2
41	G2P2	CLb	talus routier - indices d'instabilité	oui	oui	+	G3P2
42	G2P2	CLb	ravine - berges marquées - érosion pris en compte dans aléa INON --> revoir zonage INON	oui	oui	+	G3P2
43	G2P2	S2	talus routier - pente > 30° - indices d'instabilité	oui	oui	+	G3P2
44	G3P2	CLb - Cb	pente < 30° --> replat topographique // zone HE	non	oui	-	G2P2
45	G2P2	S2 - CL	terrassement H > 5m - sans confortement - indices d'érosion	oui	oui	+	G3P2
46	G3P2	CL	zonage à revoir	non	oui	-	G3P2
47	G3P2	CLb	cf. rapport M'kaféni BRGM/RC-54822-FR --> aménagement du secteur avec ouvrages de soutènement	oui	oui	-	G2P2
48	G2P2	CLb	talus > 5m	non	oui	+	G3P2
49	G3P2	CL	habitations en amont d'un versant pente > 30° - bande de sécurité amont - indices d'instabilité et érosion en tête de versant ; déclassement pour les habitations au bord de route	oui	oui	-	G2P2
50	G3P2	CL	secteur densément urbanisé, possibilité de déclassement pour la ligne de bâti amont, ligne de bâti aval reste en fort car talus abrupt en aval sans confortement	oui	oui	-	G2P2

Etude de précision de l'aléa mouvements de terrain dans les zones à enjeux de la commune de Sada (Mayotte) par intégration du MNT (IGN 2008) et de la cartographie géologique simplifiée

51	G3P2	CL	secteur densément urbanisé, en amont : facteurs aggravants - mauvaise gestion des eaux, ravinement, terrassements anarchiques ; en aval léger replat aléa moyen OK	oui	oui	-	G2P2
52	G3P2	CL - S2	habitations en tête de versant, érosion régressive	oui	non	=	G3P2
53	G3P2	CL	secteur densément urbanisé : facteurs aggravants - mauvaise gestion des eaux, ravinement, terrassements anarchiques	oui	non	=	G3P2
54	G3P2	S2	zone de replat, faible pente, en aval d'un talus instable, bande de sécurité environ 15m conservée	oui	oui	-	G2P2
55	G3P2	CL	ouvrages, Mur de soutènement	oui	oui	-	G2P2
56	G2P2	CLb	berges bien marquées de la ravine, prolongement aléa fort	oui	oui	+	G3P2
57	G3P2	CLb	secteur densément urbanisé, pas d'indices d'instabilités observés	oui	oui	-	G2P2
58	G2P2	CLb	maison en tête de versant, érosion régressive - en arrière de la maison, mur de soutènement de mauvaise conception	oui	oui	+	G3P2
59	G3P2	CLb	Façade Nord des deux maisons sur piliers, en aval pente < 25°, forte érosion	oui	non	=	G3P2
60	G3P2	CLb	en aval de la route : pente douce < 20° - quelques blocs décimétriques	oui	oui	-	G2P2
61	G3P2	S2	secteur urbanisé, mur de soutènement mal conçus (pas de barbacanes, bombement, fissures) --> facteurs aggravants	oui	non	=	G3P2
62	G3P2	CL	pente < 30°, pas d'indices d'instabilités	oui	oui	-	G2P2
63	G3P2	CLb	rive droite de la ravine, pente faible < 20°	oui	oui	-	G2P2
64	G3P2	CLb	en aval de la route, pente > 30°, pas d'ouvrage de soutènement	oui	oui	+	G3P2
65	G3P2	CLb	rive gauche de la ravine, pente faible - ouvrage de soutènement mal conçu (fissures et bombement)	oui	oui	-	G2P2
66	G3P2	CLb	secteur urbanisé, mur de soutènement mal conçus (pas de barbacanes, bombement, fissures) --> facteurs aggravants	oui	non	=	G3P2
67	G3P2	S2	pente < 30°, petits talus de faible hauteur	oui	oui	-	G2P2
68	nul	CL - CLb	pente moyenne 20° - possibilité de petits glissements de faible ampleur et d'intensité moyenne	non	oui	+	G2P2
69	nul	CL	pente moyenne 20° - possibilité de petits glissements de faible ampleur et d'intensité moyenne	non	oui	+	G2P2
70	G3P2	CLb	pente < 30° - aléa fort inondation (érosion berges)	non	oui	-	G2P2
71	G3P2	CLb	en aval de l'étude régolite de Mangajou (BRGM 2010), parcelles en aval d'un talus présentant des indices d'instabilité mais de faible ampleur (talus =3m)	oui	oui	-	G2P2
72	G3P2	CLb	secteur aménagé, replat, certains talus sont confortés	oui	oui	-	G2P2



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service Géologique Régional Mayotte
9, centre Amatoula
ZI Kawéni – BP 363
97600 Mamoudzou - Mayotte
Tél. : 02.69.61.28.13

Plan de Prévention des Risques
Commune de Sada

Carte d'aléa "Mouvements de terrain"

Echelle 1/5000
Novembre 2011

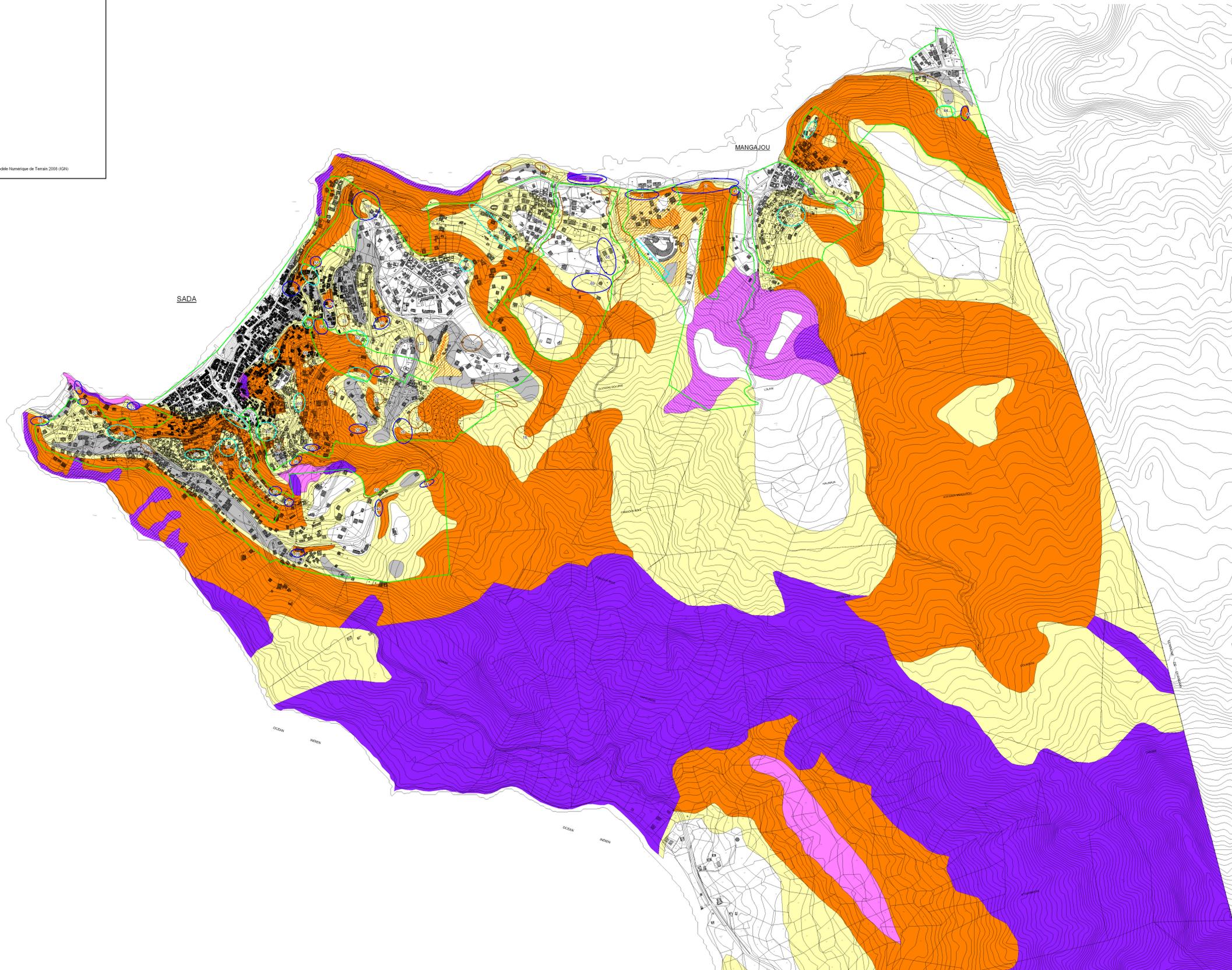


LEGENDE

- Zones à enjeux au titre du PLU
- Aléas mouvements de terrain
 - aléa fort glissements de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs (G3P2)
 - aléa fort glissements de terrain (G3)
 - aléa moyen glissements de terrain dominants accompagnés de chutes de blocs (G2P2)
 - aléa moyen glissements de terrain (G2)
 - aléa fort chutes de blocs dominantes accompagnées de glissements de terrain (P3G2)
 - aléa fort chutes de blocs (P3)
 - aléa moyen chutes de blocs dominantes accompagnées de glissements de terrain (P2G2)
 - aléa moyen chutes de blocs (P2)
 - aléa modéré mouvements de terrain indifférenciés (G1P1)
- Secteurs analysés et modifications effectuées
 - surclassement du niveau d'aléa (29)
 - déclassement du niveau d'aléa (19)
 - pas de modification (24)
- Habitat



Fond de carte : cadastre 2007 et courbes de niveau (espacement 5 m) extraites du Modèle Numérique de Terrain 2008 (IGN)



MTSANGACHEHI

