## INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE TOULOUSE

4<sup>ème</sup> Année IR

# Bureau d'étude Dimensionnement d'interface radio pour réseaux mobiles

Guide de prise en main du logiciel ICS Telecom v 11.4 Design d'un réseau LTE

Alexandre Boyer

alexandre.boyer@insa-toulouse.fr http://www.alexandre-boyer.fr

Avril 2016

# Sommaire

Ι.	Présentation du logiciel ICS Telecom	. 3
II.	Structure et création d'un proiet	. 4
1.	Structure d'un projet	4
2.	Extensions des fichiers	5
3.	Création d'un projet	5
III.	Présentation de l'interface utilisateur	. 6
IV.	Affichage du modèle numérique de terrain	. 7
1.	Vue en 2D du modèle de terrain numérique	7
2.	Vue en 3D du modèle de terrain numérique	8
3.	Information sur l'occupation de la carte	8
V.	Paramétrage des modèles de calcul	. 9
1.	Configurations générales et préférences	9
2.	Modèles de propagation	9
3.	Clutter	.10
4.	Interférences	.11
VI.	Placement de stations de base	12
1.	Création d'un réseau de stations de base (ou fixe)	.12
2.	Gestion des propriétés des stations de base existantes	.14
VII.	Profil radio et analyse de couverture	15
1.	Couverture d'une station	.15
2.	Analyse de la couverture en un point (profil radio)	.17
VIII.	Outils associés au dimensionnement d'un réseau LTE	19
1.	Couverture radio du canal de référence CS-RS	.19
2.	Couverture du canal de données descendantes (PDSCH) - Evaluation de la capacité en	lien
des		.20
3.	Couverture du canal de données montantes (PUSCH)	.23
4.		.24
IX.	Edition de rapports - impression des resultats	27
1.	Kapports de résultats	.27
2.	Impression des resultats	.27

Ce document a pour but de vous guider dans la création de projet sous ICS Telecom et lors du processus de dimensionnement et planification d'un réseau cellulaire LTE. Il ne vous donne que les commandes et les outils principaux dédiés à l'analyse et la planification de ce type de réseau. N'hésitez pas à consulter le manuel de référence du logiciel (?/help) pour de plus amples informations sur le logiciel et d'autres applications.

Le logiciel tourne uniquement sur Windows. Il se lance par l'icône ICS Telecom x86 ou dans le menu Démarrer/ATDI/ICS Telecom x86.

# I. Présentation du logiciel ICS Telecom

ICS Telecom est un logiciel commercial développé par la société ATDI dédié à la planification de réseaux sans fil. Celui-ci supporte différents types de liaison (point à point, réseau de diffusion, réseau cellulaire, liaison satellite), différentes applications (téléphonie 2G, 3G et 4G, TV mobile, WiMAX, radar...) et différents services (voix, données, VoIP...). L'outil de planification radio proposé par ICS Telecom est adapté à un nombre varié d'environnement (indoor, outdoor, zone rurale, urbaine...), à partir de l'outil de modélisation de profil de terrain 2D et 3D.

ICS Telecom propose les outils essentiels pour simuler un réseau sans fil digital :

- Calcul du bilan de liaison en fonction des paramètres des émetteurs-récepteurs et du profil de terrain
- Analyse de connectivité à un réseau donné, détermination du meilleur serveur
- Analyse de traffic
- Etude des interférences intrasystème et intersystème, compatibilité électromagnétique
- Gestion du spectre radiofréquence
- Recherche prospective d'emplacement d'émetteur

• ...

L'outil intègre un grand nombre de modèles de propagation adaptés à de nombreux environnements et prenant en compte les phénomènes de réflexion, diffraction par le sol et les obstacles, de réfraction, de diffusion, d'atténuation par l'atmosphère ...



Fig. 1 – Quelques écrans du logiciel ICS Telecom

Dans le cadre de ce TP, nous nous intéresserons uniquement à la planification d'un réseau cellulaire LTE, en mode FDD.

## II. Structure et création d'un projet

Le projet est l'espace de travail d'ICS Telecom. Il est donc nécessaire de créer et de gérer correctement un projet pour réaliser une planification de réseau sous ICS Telecom.

#### 1. Structure d'un projet

Un projet ne contient en fait que les liens vers les différents fichiers qui vont être utilisés pour lancer les calculs et les analyses dans ICS Telecom. Chaque fichier est une couche contenant en chaque point différentes informations à prendre en compte dans les calculs : couches cartographiques pour l'information altimétrique du profil de terrain, pour le positionnement (X,Y) des sites, pour la hauteur des bâtiments ; couche clutter ; couche contenant le réseau (type de stations, paramètres...) ; couche résultat ; couche d'objets vecteurs. La figure ci-dessous présente l'organisation d'un projet sous la forme de couches superposées.



Fig. 2 – Organisation d'un projet en couches sous ICS Telecom

Chacun de ces fichiers (et de ces couches) ont donc un rôle particulier, soit topographique (terrain, bâtiments, propriétés du sol...), soit fonctionnel (réseau présent, propriétés générales, résultats de couverture radio...). L'utilisateur est libre d'ajouter le nombre de couches qu'il souhaite. Ci-dessous, une description de chacune des couches apparaissant sur la figure 2.

- Modèle numérique de terrain (Digital Elevation Model) .GEO : chaque point du fichier .GEO contient une valeur sur 16 bits donnant l'altitude d'un point (un pixel de la carte). Eventuellement, le fichier peut intégrer l'altitude des bâtiments. Cette couche est donc indispensable dans un projet.
- Couche Indoor .IDR : cette couche permet le calcul de propagation en milieu indoor. Ce fichier remplace alors le fichier .GEO et contient des informations sur le type de cloisons rencontrés
- Couche Building .BLG : cette couche contient des informations altimétriques sur les bâtiments. La grille sur laquelle est conçue cette couche doit être calée sur celle du fichier .GEO.
- Couche Clutter .SOL : cette couche contient des informations sur la nature du sol rencontrée (rural, urbain, forêt, eau, route, toit ...) codifiées selon les règlementations UIT-R. Les informations qu'il contient peuvent être utilisées dans les calculs d'atténuation dues à l'occupation des sols. De même, la grille sur laquelle est conçue cette couche doit être calée sur celle du fichier .GEO.
- Couche image .IMG : cette couche contient des données graphiques liées à l'apparence de la zone (photo aérienne, cartes papiers, image satellite).
- Couche Palette .PAL : cette couche est associée à la couche image. Elle contient une palette de couleurs.

- Couche couverture .FLD : cette couche contient les résultats de simulation de type calcul de couverture radio (champ électrique, puissance reçue ...).
- Couche Objets .ÈWF : cette couche contient les informations liées aux éléments du réseau (caractéristiques techniques, positionnement...) et leurs couvertures associées. Cette couche créée par l'utilisateur, est nécessaire pour la planification réseau. L'utilisateur peut ajouter plusieurs couches .EWF.
- Couche vecteur .VEC : cette couche contient des objets graphiques définis par l'utilisateur (ligne, polygone pour décrire une zone de service...).

#### 2. Extensions des fichiers

L'extension d'un fichier projet est .PRO. Le tableau ci-dessous liste les extensions des principaux fichiers que vous serez amenés à utiliser.

Extension	Description
.PRO	Projet
.GEO	Modèle numérique de terrain
.BLG	Couche bâtiments
.SOL	Couche clutter
.IMG	Couche image
.PAL	Palette graphique associée à la couche image
.FLD	Couche couverture
.EWF	Couche objet, information liée aux éléments du réseau
.VEC	Couche objets vectoriels
.PRM	Paramètres généraux d'un projet (modèle de propagation, prise en
	compte des interférences)
.P11	Palette couleur définie par l'utilisateur (ex : code couleur pour
	l'affichage des résultats)
.TRX	Paramètres techniques d'un réseau
.PLG	Objet vectoriel – masque polygonal
.SPH, .SPV	Diagramme de rayonnement 2D dans un plan horizontal ou vertical

### 3. Création d'un projet

Il s'agit de la première étape dans l'utilisation d'ICS Telecom. Elle se fait par l'intermédiaire du gestionnaire de projet qui s'ouvre par défaut lors du démarrage d'ICS Telecom, ou dans la barre de menu en cliquant sur **File/Gestionnaire de projet**. La fenêtre ci-dessous s'ouvre (vide si aucun projet n'a été chargé). Pour ouvrir un projet existant, cliquez sur le bouton Ouvrir un projet … en haut à gauche (\*.PRO). Les différents fichiers pointés par le projet apparaissent dans le tableau Content. Pour ajouter un fichier dans le projet, cliquez sur la ligne correspondant à ce fichier, puis cliquez sur le bouton Browse… pour aller chercher dans l'explorateur Windows ce fichier.

Si vous créez un nouveau projet, il faut pointer vers les fichiers indispensables (.GEO) et cliquez sur Sauver Projet pour donner un nom au projet.

Une fois le projet sélectionné ou créé, cliquez sur le bouton Load pour charger le projet dans ICS Telecom. A l'issue de cette opération, l'interface d'ICS Telecom s'ouvre avec le modèle numérique de terrain et les objets enregistrés dans la zone d'affichage.

Gestionnaire de projet			×
U:\Campus_F	Rangueil_data\Campus_rangueil.PRO	Ouvrir un projet	rééchantillonage MNT 1
Project content			Force memory swap
Items	File Name	Status	No proview available
Digital terrain model (.GEO)	U:\Campus Rangueil data\Toulouse5m.geo	OK	No breview available
Map image (.IMG)	U:\Campus Rangueil data\Toulouse2m5.img	OK	
Color palette (.PAL)	U:\Campus Rangueil data\Toulouse2m5.pal	OK	
Clutter layer (.SOL)	U:\Campus_Rangueil_data\Toulouse5m.sol	OK	
Building layer (.BLG)	U:\Campus_Rangueil_data\Toulouse5m.blg	OK	
Vector layer (.VEC)	undefined		
Map server file (.MAP)	undefined		
Parameters (.PRM)	undefined		
Network objects (.EWF/.E	undefined		
User color palette (.P11)	undefined		
Result (.FLD)	undefined		
•		•	
Browce Berry	we Explorer (for drag and drop ite	ms)	
browse Renic	Explorer (for and anop ite		
Recent projects	Status Date las	t opene	
Uniprojet INDOOR/projet PR	O OK 3/6/201	3	
UNICS Telecom/Maternite/M	aternite PRO Invalid 4/6/201	3	
United Telecom Maternite) es	sai Clement'maternite.PRO OK 5/6/201	3	
		•	
1			
1			
1			
1			
1			
1			
, (double-click to select existing p	project) Select Remove from	list Reset list	
			Nouveau projet Sauver projet Annuler Load

Fig. 3 – Gestionnaire de projet d'ICS Telecom

# III. Présentation de l'interface utilisateur

L'interface utilisateur d'ICS Telecom est assez complexe. Elle donne accès à de nombreuses commandes et outils. Certains d'entre eux sont accessibles par différentes méthodes. Nous ne ferons une description exhaustive des commandes de l'outil dans ce guide, seulement une description des commandes utiles pour ce TP.

La figure ci-dessous présente l'interface utilisateur d'ICS Telecom (avec un projet chargé et un modèle numérique de terrain apparaissant dans la zone d'affichage). Celle-ci contient différentes zones :

- la barre de menus : elle donne accès à une majeure partie des outils d'ICS Telecom
- la zone des coordonnées : elle donne les coordonnées, l'altitude, le type de terrain (clutter), le champ et la puissance reçue au point sous la souris
- la zone d'affichage : elle présente le modèle numérique de terrain en 2D. Par clic droit au dessus de la zone d'affichage, il est possible d'avoir accès à un certain nombre d'outils
- la barre d'outil : sur la gauche de l'écran, elle donne accès à un certain nombre d'outils (gestion de l'affichage dans la zone d'affichage, gestion des stations et des subscribers, du mode d'installation du réseau (Tx/Rx, microwave, faisceau hertzien, zoom, dessin d'objets graphiques vectoriels)
- la liste des stations : sur la droite de l'écran, elle donne la liste des stations émettrices/réceptrices présentes sur le réseau (.EWF) sous la forme d'une arborescence, ainsi que leur statut (activé/désactivé).
- la palette couleur : elle indique le code couleur pour les résultats affichés
- Ia barre d'état : elle donne l'état d'avancement des calculs.



Fig. 4 – Interface utilisateur d'ICS Telecom

# IV. Affichage du modèle numérique de terrain

Vue des différentes couches, vue 3D, zoom, contrôle avec la souris, options et préférences.

#### 1. Vue en 2D du modèle de terrain numérique

Commençons par la gestion de l'affichage du modèle numérique de terrain en mode 2D. Celle-ci peut se faire selon 2 méthodes :

- dans la barre d'outils, en cliquant sur le bouton
- dans la barre de menu en cliquant sur Map/2D Display

Le menu déroulant ci-contre s'affiche, permettant de sélectionner la couche à afficher. Selon les fichiers sélectionnées dans le projet, plus ou moins de couches peuvent être visibles Lorsque DEM est sélectionné, seul le modèle numérique de terrain est affiché. En sélectionnant Image, on visualise l'image du terrain. Clutter permet de superposer à la zone d'affichage les informations clutter (code couleur clutter dans **Tools/Clutter Options**). Building permet de superposer les informations Building. Si des calculs de couverture ont été effectué, il sera possible d'afficher aussi des données type Field strength, Frequencies, Interferences...).



#### 2. Vue en 3D du modèle de terrain numérique

Il est possible de générer des vues en 3D du modèle de terrain numérique, en superposant les différentes couches par-dessus (clutter, building, couverture). Pour cela, cliquez dans la barre de menu **Map/3D Display** et sélectionnez le mode d'affichage.



Fig. 5 – Vue 3D du profil numérique de terrain

#### 3. Information sur l'occupation de la carte

Il est possible d'avoir des informations détaillées sur l'occupation détaillée de la carte à l'aide du menu **Map/Filter/General Filter**. La fenêtre ci-dessous s'ouvre. Nous reviendrons plus tard sur cet écran car il permet aussi d'obtenir la surface couverte par un émetteur radio. En sélectionnant les clutters, ou la plage d'altitude considérée, puis en cliquant sur le bouton Compute, la surface occupée est indiquée dans le champ Total area (km<sup>2</sup>).

Filter			×
clutter selection			ок
0 V rural	10 🔽 user 1	DEM selection minimum elevation (m)	Annuler
I I suburban	11 V user 2	117	All clutter
2 🔽 urban 8 m	12 🔽 indoor 2 floors	maximum elevation (m)	No clutter
3 🔽 urban 15 m	13 🔽 indoor 4 floors	260	Report
4 🔽 urban 30 m	14 🔽 indoor 6 floors	filter selection	Report min/max
5 🔽 forest	15 🔽 indoor 8 floors	Interference	Station list
6 🔽 hydro	16 🔽 indoor 10 floors		
7 🔽 urban 50 m	17 🔽 indoor 15 floors	maximum value	dBuV/m / dBm
8 🔽 wood	18 🔽 indoor 20 floors	103.0000	
9 🔽 road or roof	19 V Border*	Remove pixel it neighbours are different	
area covered (%)	0.0000	range (pixel)	🔲 Extd radius limit
area covered (km2)	0		🔲 Sector limit
total area (km2)	16.241	compute	Min/Ma×

Fig. 6 – Options de filtrage pour l'étude de l'occupation et la couverture de la carte

# V. Paramétrage des modèles de calcul

La simulation de la connectivité d'un réseau cellulaire repose sur la prédiction de la propagation des champs électromagnétiques produits par les différents émetteurs radio dans un environnement complexe et le niveau reçu par les différents récepteurs. Il est donc nécessaire de spécifier le modèle de propagation, les paramètres du terrain, et la manière dont les différents émetteurs interfèrent entre eux. L'ensemble des paramètres de calcul sont enregistrés dans un fichier .PRM.

### 1. Configurations générales et préférences

Dans la barre de menu, en cliquant sur **File/Preferences**, on a accès à de nombreuses propriétés d'affichage, de paramétrage des stations, de la cartographie et des unités, et la prise en compte des interférences. La fenêtre présentée ci-dessous s'ouvre. Elle donne accès à la configuration du modèle de propagation, des clutters et de la prise en compte des interférences via les boutons Model.., Clutter... et Interference restriction ... respectivement. Pour enregistrer les paramètres dans un fichier .PRM, cliquez sur le bouton Save, pour charger un fichier de configuration PRM, cliquez sur le bouton Load.

Preferences			×
Preferences Antennas Enhanced rpe/a3d Xpol - interference Default rx antenna height (m): 1.50 C Tilt and resolution from Tx/Rx parameters Mechanical tilt Electrical tilt	Stations Add Tx/Rx from list Circular calculation limit Ghost Tx accepted (Tx outside map) Auto adjust azimuth for linked stations Auto adjust tilt for linked stations Prevent link creation if radios not compatible Update site location from station coordinates	Interference  No MW ATPC  Wanted power = P-ATPC / Unwanted = P  Wanted power = P / Unwanted = P-ATPC Wanted power = P-ATPC / Unwanted = P-ATPC Pilot self-interference (Ec/I0)  MW passive interference mode Change MW color (margin <2, TD>0, path)	Close Model Clutter Indoor Status
C Rotary	C Automatic call-signs Manual call-signs Variable height range: from 1 m to 250 m Variable height range: from 10 m to 2500 m Variable height range: from 100 m to 25000 m Max number of neighbours 64	Minimum coverage value (dBu): 20 Min co-site attenuation (dB): 60 Interference restriction .fld/.fdu/.fdw default path	Load
Palette / Display     Unit       DEM adaptive palette     DMS striit       30: vectorize buildings     MGRS (w       Building range 0-255     Building range 0-512       User palette     INGR       Propriétés des objets     Index	Ig mode gs84 - standard)	on     32000       (g)     Skip report (only csv)       (g)     CSV list separator , num: .       (g)     CSV list separator , num: .       (g)     Shared D8 station/mw       (g)     CSV list separator , num: .	

Fig. 7 – Boîte de dialogue Préférences

Dans la barre d'outils, le bouton de configuration (Settings) **u** permet de régler le seuil de réception (threshold) et la distance maximale de calcul (limiter cette distance pour réduire le temps de calcul).

### 2. Modèles de propagation

La boîte de sélection des modèles de propagation peut être ouverte depuis plusieurs écrans via le bouton Model... Sinon, elle est directement accessible depuis le menu **Tools/Propagation Models...** puis le bouton **Model**. La fenêtre ci-dessous s'affiche. Le modèle peut être sauvegardé dans un fichier .PRM en cliquant sur le bouton Save.



Fig. 8 – Boîte de sélection des modèles de propagation

#### 3. Clutter

Les paramètres des clutters (hauteurs, atténuation, couleurs, ...) peuvent être modifiés en cliquant sur le bouton Clutter qui apparaît sur plusieurs fenêtres ou directement depuis le menu **Tools/Clutter Options**. Les clutters définissent la façon dont est occupé le sol à chaque pixel du modèle de terrain, avec des atténuations, des hauteurs, des densités de population ... différentes. Chaque clutter est référencé par un code donné. Le tableau ci-contre donne les codes clutters définis par l'ITU-R et l'ETSI.

Code	CCIR	UER
0 1 2 3 4 5 6	Rural Suburbain Urbain Urbain 15 m Urbain 30 m Forêt Hydro	Rural Suburbain Urbain Urbain Urbain Forêt Hydro
7	Urbain 50 m Bural boisé	Urbain Forêt
9	Rues/Routes	/

	- Ciril											-
Clutter c	code	Name	Attenua	tion (dB)	Clutter height	Reflection: Rho (0-1)	Erlang/km2	Surface factor	Diffraction factor	Station/km2	Stddev (dB)	Tip
0		rural	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	1.00	0.000	1.00	🔽 rx ground
1		suburban	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	1.00	7.000	1.00	🔽 rx ground
2		urban 8 m	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	1.00	1.000	1.00	🔽 rx ground
3		urban 15 m	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	1.00	1.000	1.00	🔽 rx ground
4		urban 30 m	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	1.00	1.000	1.00	rx ground
5		forest	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	0.60	1.000	1.00	🔽 rx ground
6		hydro	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	1.00	1.000	1.00	🔽 rx ground
7		urban 50 m	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	1.00	1.000	1.00	rx ground
8		wood	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	0.40	1.000	1.00	🔽 rx ground
9*		road or roof	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	1.00	1.000	1.00	🔽 rx ground
10		user 1	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	1.00	1.000	1.00	🔽 rx ground
11		user 2	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	1.00	1.000	1.00	🔽 rx ground
12		indoor 2 floors	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	1.00	1.000	1.00	-
13		indoor 4 floors	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	1.00	1.000	1.00	
14		indoor 6 floors	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	1.00	1.000	1.00	1
15		indoor 8 floors	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	1.00	1.000	1.00	-
16		indoor 10 floor:	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	1.00	1.000	1.00	-
17		indoor 15 floor:	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	1.00	1.000	1.00	1
18		indoor 20 floor:	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	1.00	1.000	1.00	
19*		Frontier*	0.0	0.0	0	0.300	1.0000	1.000	1.00	1.000	1.00	1
		Default name	∫⊂ dB/k	r all 0 C CCII C UER C Flat C Flat C Use C Tuni C Non C TSB	Default +absorption +diffraction ng e +88 por	Height fa Indoor building add. a Reference frequ	actor 1.0 Iten. 0.0 ency 170.000	dB MHz Load	b/Rx cov (R) over clutter over ground spot ver ground relaxe ot calculate diffrac Save	Tx/Jam/MA C T/R over T/R over tion if clutter cod	v (T) er clutter er ground le= -1	-1 = none

Fig. 9 – Boîte de paramétrage des clutters

L'utilisateur peut changer les paramètres de chaque clutter, en sélectionnant le bouton User :

- Atténuation (dB) : l'atténuation supplémentaire apportée par la transmission à travers le clutter
- la réflexion (coefficient rho)
- la dispersion (exemple : slow/fast fading) : paramètre Stddev (dB). La distribution considérée est une distribution lognormal.

#### 4. Interférences

Les interférences, c'est-à-dire les signaux parasites issus d'autres émetteurs et pouvant brouillés le signal utile, constituent un problème général en télécommunications. Pour prendre en compte les interférences sous ICS Telecom, il est nécessaire de définir quels seront les stations interférentes et comment les interférences seront filtrées par le récepteur.

Commençons par définir les stations interférentes. À partir du menu **Tools/Interference restriction**, il est possible de choisir les restrictions à appliquer pour les calculs d'interférences (stations appartenant au même réseau, stations activées ou désactivées).

Interference from/to activated stations (only)  Wanted: all channels / Unwanted: all channels (C/I)  Wanted: Pilot channel only / Unwanted: all channels (C/I)  Wanted/Unwanted distance <= 10000.00 km	✓ same Network ID*       □ same Group code     or       □ linked     or       ✓ same pixel     or       and if Delta F >=     -1
C/I and IRF correction if same Network ID 0 dB C/I - correction, IRF + correction	*Network ID must be not null
Rx antenna type (coverage mode only)      Standard / AAS      MIMO SD/SM	or Unknown (0)
No. arrays 1 update Rx gain	Tx/Rx A

Fig. 10 – Boîte de paramétrage Restriction pour le calcul d'interférences

On trouve sur les émetteurs et récepteurs radios des filtres bande étroite (filtre très sélectif dont la bande passante est égale à la largeur du canal) permettant de lutter contre les interférences hors bande (à noter qu'on ne peut évidemment pas filtrer les interférences co-canal). La réjection totale de ces filtres n'est pas infinie, mais doit respecter des contraintes fixées par les normes des systèmes des télécommunications. Pour tenir compte de la réjection des interférences, on définit sous ICS Telecom des facteurs de réjection d'interférence (Interference rejection factor IRF), dont un exemple de gabarit est présenté ci-dessous. Celui-ci définit pour chaque canal situé autour du canal utile la réjection minimum que doit apporter les filtres émetteurs et récepteurs. La largeur du canal dépend du système considéré (par exemple, 1.4, 3, 5, 10, 15 ou 20 MHz en LTE). Les différents canaux sont repérés par des entiers. N = 0 correspond au canal utile, N = 1 aux 2 canaux adjacents. Pour N = 0, le facteur IRF = 0 puisque l'on considère dans ce cas une interférence co-canal. Il est donc impossible de la filtrer. Pour les canaux adjacents et plus éloignés, le facteur IRF est négatif et correspond à une atténuation des interférences reçues à l'intérieur de ces canaux.



Fig. 11 – Principe du gabarit IRF

La définition du gabarit IRF peut se faire selon différentes manières. Nous n'utiliserons que la manière manuelle, c'est-à-dire entrer la valeur IRF en fonction de N. Celui-ci pourra être défini dans différentes fenêtres, nous y reviendrons.

# VI. Placement de stations de base

Plusieurs types de réseau peuvent être configurés sur ICS Telecom. Seuls les réseaux TX/RX qui utilisent un groupe de stations émettrices et réceptrices fixes seront présentés dans ce document. Ce mode permet de représenter un réseau de stations de base ou stations fixes sur lequel un groupe de stations mobiles (subscribers ou user equipments) peuvent se connecter.

Pour s'assurer que l'outil est configuré dans le mode TX/RX, vérifiez dans la barre d'outils que le

bouton TX/RX mode est enfoncé.

### 1. Création d'un réseau de stations de base (ou fixe ou eNode B)

Les stations fixes ou stations de bases peuvent être entrées (position et paramètres) manuellement ou de manière semi-automatique à partir d'une base de données préexistantes. Nous ne présenterons que le mode manuel dans ce document. Celui-ci consiste à placer une station fixe directement sur la carte par un clic souris. En faisant un clic droit avec la souris lorsque le curseur est positionné au dessus du point d'installation, un menu pop-up s'ouvre. Sélectionnez **Ajouter une station/Tx/Rx** (Fig. 12).



Fig. 12 – Positionnement manuel d'une station fixe

La fenêtre ci-dessous s'ouvre, qui permet de configurer les différents paramètres de la station fixe. En cliquant sur le bouton, il est possible de charger ou de sauvegarder les paramètres d'une station fixe, via un fichier .TRX.

Туре	Signal	Status Frequen	ncy plan	42
Tx/Rx A (0) -		Unknown (0)	▼N	activated
Nominal power (M)	10	Couverture	Into	
	10	ITU525	Callsion and a	Parenting
Dynamic (dB)	60	Delata	Site 13_0	Parenting 0
Tx ant gain (dBi)	18.00	Delete Info	Address	Date
Rx ant gain (dBi)	18.00		Site 13	20150420 yyyynindd
Losses (dB) tx	3.00 rx 3.00		Cell ID group (inf1)	Туре
Tx add losses (dB)	0.00	Variable power	Call ID sector (inf2)	C .
F.I.R.P (W)	316.2278	() Fixed power	Cell ID sector (Inf2)	LINK
	811 00000	Fixed frequency	Network ID	Group
Frequency (MHZ)	011.00000	Freqhop/wide band	MonReseauLTE	
Antenna height (m)	27.00	Variable elevation	User	Call number
Tx bandwidth (kHz)	10000.00	Fixed elevation		0
Rx bandwidth (kHz)	10000.00			
comment:				

Fig. 13 – Boîte de dialogue de paramétrage d'une station fixe

Cette boîte de dialogue contient plusieurs onglets :

- Onglet General : celui-ci permet de définir le type de station (Tx/Rx A), de signal (FDD-LTE pour un réseau LTE à multiplexage fréquentiel), le statut de la station (par défaut, Unknown), les paramètres techniques de l'émetteur/récepteur (puissance nominale, dynamique en puissance, gain antennes, pertes, hauteur par défaut, bande passante...), la possibilité de saut de fréquence (Fixed frequency ou Freq hop/wideband), le numéro de la station et son statut d'activation (activé ou désactivé), et des informations administratives sur la station (call sign = paramètre d'identification unique pour une station).
- Onglet Patterns : celui-ci définit le diagramme de rayonnement de l'antenne. Il est possible de sélectionner un type de diagramme dans le menu déroulant. Par défaut, sélectionnez « 2D antenna H+V (1 polarization) », pour définir les diagrammes de rayonnement dans les plans

horizontaux et verticaux. En cliquant sur le bouton ..., on peut sélectionner une antenne omnidirectionnelle (Set to Omni) ou bien éditer ou charger des diagrammes de rayonnement dans le plan horizontal (**Edit/Select H pattern**) ou vertical (**Edit/Select V pattern**). Vous pouvez charger des fichiers .SPH ou .SPV pour définir les diagrammes de rayonnement dans les plans horizontaux et verticaux respectivement, en cliquant sur le bouton **Load**.

- Onglet Channels : celui-ci définit les fréquences des canaux de transmission et de réception.
- Onglet Site : coordonnées du site d'installation, couleur et icône associées au site.
- Onglet eNodeB setup : cet onglet offre des paramètres spécifiques au système et des paramètres de trafic, dont voici les plus importants :
  - **kTBF** : détermine le seuil de bruit thermique du récepteur (bruit thermique + facteur de bruit F). A noter que l'on peut aussi y inclure les interférences.
  - % Ref signal : donne le % d'utilisation des blocs de ressources pour le signal CS-RS (4.76 % pour une antenne standard, 9.52 % pour un système d'antenne MIMO). Il est donné comme pourcentage d'utilisation de la puissance du champ Power max (W). Ce terme va fixer la puissance moyenne attribuée au canal CS-RS et interviendra dans le calcul de la puissance RSRP (VIII.1).

- % Control : donne le % d'utilisation des blocs de ressources à l'ensemble des canaux de contrôle. Il est donné comme pourcentage d'utilisation de la puissance du champ Power max (W). Ce terme va fixer la puissance moyenne attribuée à ces canaux. Il s'agit d'autant de puissance en moins pour le canal de données (PDSCH). Parmi les canaux de contrôle considérés, on a : canaux PBCH, PDSCH, PFCICH, PHICH.
- %PDSCH : le pourcentage de blocs de ressource utilisés pour le canal de donnée PDSCH. Ce pourcentage est équivalent au facteur de charge du réseau. Il est en lien avec le champ RB et les champs TX/Rx bandwidth (onglet General). En changeant %PDSCH, on met à jour le nombre de RB utilisés par le canal de données. Les calculs de SNIR du lien descendant (voir VIII.2) tiennent compte de la puissance réellement attribuée au canal PDSCH, qui dépend de la valeur du champ Power max et du champ %PDSCH.
- Power max (W) : la puissance maximale utilisée pour le lien descendant. Il est en lien avec le champ Nominal Power (W) (onglet General). C'est ce dernier qui est utilisé lors des simulations de couverture et rend compte de la puissance attribuée au canal de données dans le cadre d'une simulation d'un réseau LTE. En fonction de la valeur du champ Power max, des pourcentages attribués aux canaux de contrôle et CS-RS, et le nombre de RB utilisés, le champ Nominal Power (W) sera mis à jour en appuyant sur le bouton upd.

Pour supprimer une station fixe, placez la souris au dessus de la station, faites un clic droit ou gauche, sélectionnez le nom de la station. Une liste pop-up apparaît, cliquez sur Delete.

Pour sauvegarder le réseau de stations fixes que vous venez de générer, cliquez sur File/Save/Save network file (.EWF).

#### 2. Gestion des propriétés des stations de base existantes

La liste des stations fixes présentes dans le projet est accessible depuis l'outil Database Station List. La fenêtre ci-dessous s'ouvre. En cliquant sur une station dans la liste et en sélectionnant Parameters, il est possible de modifier individuellement les propriétés d'une station de base. A l'aide des boutons Activate et Deactivate, il est possible d'activer ou de désactiver une station fixe (intégrer ou non une station de fixe à un réseau).

Record	Callsign	Address	Frequency (MHz)	Nominal power (W)	Radiated power (W)	Antenna (m)	Туре	Status	21
1	BTS1_1	28 rue de l'arcade	2110	10	398.10717773	4	T/R	activa	
2	BT51_2	28 rue de l'arcade	2110	10	398.10717773	4	T/R	activa	List
3	BTS1_3	28 rue de l'arcade	2110	10	398.10717773	4	T/R	activa	
4	BTS2_1	53 avenue du general Lecle	2110	10	398.10717773	4	T/R	activa	Goto record
5	BTS2_2	53 avenue du general Lecle	2110	10	398.10717773	4	T/R	activa	
6	BTS2_3	53 avenue du general Lecle	2110	10	398.10717773	4	T/R	activa	Isolate
7	BT53_1	32 rue de Gallieni	2110	10	398.10717773	4	T/R	activa	Made
8	BT53_2	32 rue de Gallieni	2110	10	398.10717773	4	T/R	activa	PIDSK
9	BTS3_3	32 rue de Gallieni	2110	10	398.10717773	4	T/R	activa	Activate
10	BTS4_1	12 avenue de France	2110	10	398.10717773	1	T/R	activa	
11	BTS4_2	12 avenue de France	2110	10	398.10717773	1	T/R	activa	Deactivate
12	BTS4_3	12 avenue de France	2110	10	398.10717773	1	T/R	activa	
13	BTS6_1	67 rue de Lille	2110	10	398.10717773	1	T/R	activa	Del deactivated
14	BTS6_2	67 rue de Lille	2110	10	398.10717773	1	T/R	activa	Chappen (tec)
15	BTS6_3	67 rue de Lille	2110	10	398.10717773	1	T/R	activa	changes (tec)
16	BTS5_1	5 rue de la victoire	2110	10	398.10717773	1	T/R	activa	Channes (nen)
17	BTS5_2	5 rue de la victoire	2110	10	398.10717773	1	T/R	activa	
18	BTS5_3	5 rue de la victoire	2110	10	398.10717773	1	T/R	activa	Changes (ant)
19	BTS7_1	40 rue de Luxembourg	2110	10	398.10717773	4	T/R	activa	
20	BT57_2	40 rue de Luxembourg	2110	10	398.10717773	4	T/R	activa	Changes (cx)
21	BTS7_3	40 rue de Luxembourg	2110	10	398.10717773	4	T/R	activa	Changes (AcSet)
									Technical info
									C General info
4								Þ	Rafraîchir
Double clic	k or right	click for options	activa	ted: 21	de-activated: 0	Ghost	0		·
				,	1.				Close

Fig. 14 – Liste des stations fixes présentes

Il est possible de changer les propriétés d'un groupe de stations fixes. Pour cela, sélectionnez les stations dans la liste, puis cliquez sur un des boutons suivants : Changes (tec), Changes (gen), Changes (ant) ... pour modifier les paramètres techniques, les informations administratives ou les diagrammes de rayonnement respectivement. Par exemple, supposons qu'on souhaite modifier les paramètres techniques de toutes les stations de base, on les sélectionne toutes dans la liste puis on

clique sur le bouton Change (tec). La fenêtre ci-dessous s'ouvre. La plupart des champs sont à -1, indiquant que lorsqu'on cliquera sur OK, la valeur associée à ce champ ne sera pas modifiée.

change activated element parameters			×
change frequency (MHz) (-1=noc):	-1.00000	change C/N (dB) (-1=noc):	-1
change Tx bandwidth (kHz) (-1=noc):	-1.00	change C/N+I (dB) (-127=noc):	-127
change Rx bandwidth (kHz) (-1=noc):	-1.00	change handover margin (dB) (255=noc):	255
change height of antenna (m) (-1=noc):	-1.00	change Location probability (%70-95) (0=noc):	0
change Tx gain (dB) (-100=noc):	-100.00	change interference C/I (0=tropo/1=steady) (-1=noc):	-1
change Rx gain (dB) (-100=noc):	-100.00	change coverage threshold (dBuV/m) (-1000=noc):	-1000
change Tx losses (dB) (-100=noc):	-100.00	change threshold: x + 20*log10(freq/500) (-1=noc):	-1.00
change Rx losses (dB) (-100=noc):	-100.00	change Rx threshold (dBuV/m) (-1000=noc):	-1000
change additional losses (dB) (-100=noc):	-100.00	reduce coverage thresh. using TD=1, init TD=0 (-1=noc):	-1
antenna 699/1245/580/694/1213/0 (-1=noc):	-1	change threshold 10-6 (dBm) (-1=noc):	-1.00
change Tx polar 0=V 1=H 2=M 3=C (-1=noc):	-1	change threshold 10-3 (dBm) (-1=noc):	-1.00
change Rx polar 0=V 1=H 2=M 3=C (-1=noc):	-1	change carrier (dBm) (-1=noc):	-1
align Rx=Tx polar:1, Cross Rx/Tx:2 (0=noc):	0	change NFD ident (0=noc):	0
change blade/radar RCS (-1=noc):	-1.00	change slot per channel (-1=noc):	-1
change tower RCS (-1=noc):	-1.00	change reserved slot (-1=noc):	-1
change blade size (-1=noc):	-1.00	change bit rate DL (Kbits/s) (-1=noc):	-1.00
change nominal power (W) (-1=noc):	-1	change bit rate UL (Kbits/s) (-1=noc):	-1.00
pilot power(%) (-1=noc):	-1.00	coverage: delete=0, 1=modify, 2=reduce (-1=noc):	-1
paging power(% pilot) (-1=noc):	-1	operator (0=none, +,-,/,×):	0
synch power(% pilot) (-1=noc):	-1		
change Mchips/s (-1=noc):	-1.0000		
change launch delay (usec) (-10000=noc):	-10000	·	
change KTBF (dBm) (-1=noc):	-1		
change Noise floor (dBm) (-1=noc):	-1		
change TIL (dBW) (-1=noc):	-1		
		0	K Annuler

Fig. 15 – Modification globale des paramètres des stations fixes.

L'accès aux propriétés des stations fixes peut se faire aussi par un clic droit sur une station, puis Parameters.

La gestion des propriétés d'affichage des stations fixes (et des objets en général) se fait via le menu **Object/Object properties (F5)**.

## VII. Profil radio et analyse de couverture

Dans ce chapitre, nous allons voir comment analyser la couverture radio d'une ou plusieurs stations émettrices. Il s'agit de déterminer le niveau de champ électrique reçu en tout point de la cartographie, ou bien le long d'un lien donné. Pour mener à bien cette étape, il est nécessaire d'avoir correctement défini les paramètres des stations émettrices et des modèles de calcul (modèles de propagation, de clutter si nécessaire).

<u>Remarque</u>: l'amplitude des signaux reçus est donné soit sous la forme d'un champ électrique incident E (Field Strength) exprimé en dB $\mu$ V/m, soit sous la forme d'une puissance électrique P<sub>R</sub> induite aux bornes d'une antenne réceptrice chargée par une résistance de réception R<sub>R</sub>, exprimée en dBm. La relation de passage entre E et P<sub>R</sub> est donnée par :

 $P_{R}(dBm) = E(dB\mu V / m) + G_{R}(dB) - L_{R}(dB) - 77.2 - 20\log(f(MHz))$  $E(dB\mu V / m) = P_{R}(dBm) - G_{R}(dB) + L_{R}(dB) + 77.2 + 20\log(f(MHz))$ 

avec G<sub>R</sub> et L<sub>R</sub> les gains et pertes du récepteur, et f la fréquence considérée.

#### 1. Couverture d'une station

Les outils associés à l'analyse de couverture se situent dans le menu **Coverage**. Avant de démarrer le calcul, activez les stations fixes que vous souhaitez faire émettre. Cliquez ensuite sur **Coverage/Network calculation/TxRx FS coverage**. La fenêtre ci-dessous s'ouvre.

Coverage parameters
Height of Rx antennas (m) 1.50
Distance (km) 4.000
Wanted threshold 29
Perform missing coverage(s) 📃
Model Options Annuler START

Fig. 16 – Lancement du calcul de couverture radio de stations fixes

Le champ **Height of Rx antennas** permet de définir la hauteur de l'antenne de réception virtuelle déplacée en tout point de la carte. Le but de l'analyse est de déterminer le champ électrique en tout point de la carte. Celui-ci dépend de la hauteur du point de mesure au dessus du sol. L'antenne virtuelle considérée est une antenne sans gain et sans pertes. Le champ Distance (km) définit le rayon de la zone de calcul autour de chaque station émettrice. Pas besoin d'étendre trop cette zone, sans quoi le temps de calcul risque de devenir considérable. Le champ Wanted threshold définit une limite de champ électrique pour lequel la réception sera de qualité. Les champs inférieurs à cette limite ne seront pas affichés par défaut. Le bouton **Model** permet de revenir aux écrans de paramétrage des modèles de propagation et de clutter. Le bouton **Options** permet de filtrer les calculs à réaliser (on peut sélectionner sur quelle clutter ou sur quelle plage d'altitude on souhaite réaliser le calcul).

Cliquez sur **Start** pour lancer le calcul. Selon le nombre de pixels de la carte, la valeur du champ Distance, le modèle de calcul, la simulation peut durer quelques secondes ou plusieurs minutes. La figure ci-dessous présente un exemple de résultat de couverture, affiché à l'aide de **Network Analysis/Composite coverage display**. Le résultat indique en tout point de la cartographie le champ électrique reçu et induit par l'ensemble des stations fixes actives.



Fig. 17 – Résultat de calcul de couverture radio

Par défaut, le résultat est affiché en dBµV/m .La légende est située en bas. En passant la souris sur l'écran, on peut lire dans la zone de coordonnées le signal reçu en champ électrique ou en puissance.

**<u>Remarque</u>**: toute modification des paramètres d'émission des stations fixes (puissance d'émission, diagramme d'antenne...) rend le résultat de calcul de couverture obsolète. Il est alors nécessaire de relancer ce calcul.

Le menu **Coverage/Network analysis** donne accès à plusieurs formes d'affichage des résultats. **Composite Coverage Display** permet d'afficher le champ électrique reçu produit par l'ensemble des stations émettrices. **Server coverage display** ou **Best server/1st server** permet de colorier les zones sur lesquelles un émetteur est le meilleur serveur (Fig. 18). Ce type de cartographie est très intéressante pour déterminer les zones de dominance de chaque station. Un bon réseau est un réseau où chaque station présente une zone de dominance bien définie, pas trop étendue ou réduite, et n'interférant pas avec les autres. Il s'agit donc d'une visualisation qualitative du problème d'interférences intercellulaires. L'édition d'un rapport de couverture permet d'évaluer quantitativement la surface de dominance de chaque station.

Des visualisations comme **Best Server/Best server overlapping** permettent aussi de déterminer combien de serveurs sont disponibles dans une même région. Cela est intéressant pour l'analyse de handover (nombre de serveurs disponibles en un point du réseau) et de l'interférence entre site.



Fig. 18 – Affichage de la couverture meilleur serveur

Dans le menu **Coverage/Network analysis**, il est seulement possible d'afficher une couverture globale provenant de l'ensemble des stations fixes activées. Pour visualiser la couverture d'une station donnée, faites un clic gauche sur une station fixe, cliquez sur le nom de la station dans le menu déroulant qui s'affiche, puis cliquez sur **Affiche la couverture** dans le nouveau menu déroulant.

Il est intéressant de calculer la surface couverte par les stations ou une station. Pour cela, après avoir effectué un calcul de couverture et l'avoir affiché, cliquez sur le menu **Map/Filter/General Filter** (voir Fig. 6). En sélectionnant les niveaux de champ électrique minimums et maximums puis en cliquant sur le bouton Compute, on obtient la surface couverte.

#### 2. Analyse de la couverture en un point (profil radio)

ICS Telecom offre aussi la possibilité d'analyser le réseau en un point précis, grâce au tracé de profil de champ entre deux points (deux points quelconques, stations vers un point quelconque, station vers subscriber). Il ya plusieurs moyens pour éditer un profil de champ, soit depuis le menu **Direct/Path Calculation**, soit par le menu déroulant qui apparaît par un clic droit sur l'écran. Nous ne les décrirons pas tous.

D'abord, nous décidons de calculer le profil de champ entre deux points quelconques (sur lesquels il n'y a pas forcément de stations émettrices ou de subscribers). Pour cela, cliquez sur **Direct/Path Calculation**. Ensuite, faites un clic gauche sur la carte pour placer la position de l'émetteur du lien radio que vous voulez simuler. La fenêtre ci-contre s'ouvre pour indiguer les propriétés de l'émetteur.

Parameters	
	Frequency (MHz): 2032.50000
	E.I.R.P (Watts): 6.3096
	Tx antenna (m): 15.00
	OK Annuler

Renseignez la fréquence, la PIRE et la hauteur de l'antenne (Tx antenna). Cliquez sur OK, puis faites un clic droit sur la carte pour repérer la position de l'antenne réceptrice. Une fenêtre s'ouvre pour indiquer la hauteur de l'antenne réceptrice. Dans cette analyse, on considère une antenne réceptrice omnidirectionnelle (gain = 0 dB) sans pertes. Cliquez sur OK, le profil radio entre les 2 points s'ouvre (Fig. 19). Celui-ci décrit le parcours entre les 2 points (distance, obstacles rencontrés), la ligne de visibilité directe et le dégagement du premier ellipsoïde de Fresnel (ellipse bleue). La courbe rouge indique l'évolution du champ électrique en fonction de la distance prédite par la formule de Friis (cas idéal d'un espace libre). La courbe verte présente l'évolution du champ électrique en fonction de la stance prédite par le modèle de propagation sélectionné dans **Tools/Propagation Models**. On voit que l'évolution n'est pas aussi monotone qu'avec celle prévue par le modèle de Friis, en raison des nombreux obstacles présents sur la ligne de visibilité directe. Les différents éléments de la fenêtre indiquent l'atténuation, le champ électrique et la puissance reçue.



Fig. 19 – Profil radio entre 2 points quelconques

Une autre manière pour faire ce type d'analyse se fait directement par clic droit sur la carte. Le menu déroulant offre différentes options pour faire du calcul de profil radio d'un point quelconque de la carte vers une station fixe : **path analysis, profile to, profile from...** 

# VIII. <u>Outils associés au dimensionnement d'un réseau</u> LTE

#### 1. Couverture radio du canal de référence CS-RS

Le menu **Coverage/Network Analysis/RSRP Coverage analysis** permet d'analyser la couverture du canal physique Cell-Specific Reference signals (CS-RS), émis sur le lien downlink. Cette voie balise est indispensable pour l'estimation du canal par le mobile et la sélection d'une station. La puissance de ce canal mesurée par le mobile est appelée Reference Signal Received Power (RSRP). Il s'agit de la puissance moyenne mesurée sur un élément de ressource. Le calcul du RSRP permet donc de déterminer si en un point, un mobile sera en mesure de détecter une station fixe.

Cette simulation nécessite au préalable un calcul de type couverture radio (**Coverage/Network** calculation/TxRx FS coverage). Le calcul prend en compte deux paramètres des stations fixes :

- la puissance émise (champ Nominal Power)
- le nombre de blocs de ressources attribués au canal CS-RS (champ %Ref Signal). Celui-ci dépend de la technique d'antennes multiples choisis : 4.76 % pour un système standard, 9.52 % en 2x2 MIMO)

Le seuil **Wanted Threshold** du calcul de couverture radio est utilisé comme seuil de réception minimal pour le canal CS-RS. Plusieurs résultats peuvent être affichés, dont :

- Composite coverage : la puissance totale du canal CS-RS est affichée en tout point de la carte. La puissance est la somme des signaux provenant des différentes stations.
- Coverage probability : probabilité que la puissance RSRP dépasse le seuil de réception indiqué dans Wanted Threshold. Le calcul de couverture est un calcul déterministe, donnant l'équivalent d'une atténuation moyenne. Dans la pratique, l'atténuation est une grandeur statistique, qui varie de manière aléatoire dans le temps et dans l'espace. Sous ICS Telecom, on considère une distribution statistique de type lognormal, typique d'un évanouissement de type fading lent. L'utilisateur définit l'écart type (standard deviation) de cette distribution, soit dans le champ ci-dessous, soit dans les paramètres clutter. La figure ci-dessous présente un exemple de résultat de couverture statistique du canal CS-RS.



Fig. 20 – Couverture statistique radio du canal CSRS

# 2. Couverture du canal de données descendantes (PDSCH) - Evaluation de la capacité en lien descendant

Le menu **Coverage/Network Interference/SNIR maps** donne accès à un calcul et à un affichage de la couverture du rapport signal sur bruit + interférence (SNIR) du canal de données descendantes (PDSCH). C'est ce rapport SNIR qui détermine la modulation et le taux de codage employé (indice MCS) et donc la capacité du lien descendant. La figure 21 présente la fenêtre permettant de paramétrer le calcul et de définir le résultat à afficher.

Action		IRF mask (dB)
SNIR (PDSCH)		N=0 0 V used N=10 50 Used
Check RSRO required (LTE		N=1 23 V used N=11 50 Used Annuler
	de	N=2 33 V used N=12 50 Used
RSRQ required value -12		N=3 40 used N=13 50 used Palette
SNIR (control channels)		N=4 50 used N=14 50 used Station list.
0.020		N=5 50 used N=15 50 used
() KSKQ		N=6 50 Used Load
Normal distrib % stddev (dB)	8.0	N=7 50 Used
	0.0	
Inroughput mapping		Options
SNIR to QCI mapping		ICIC enhancement 0 dB
<ul> <li>Unwanted = activated</li> <li>Unwanted = de-activated and activated</li> </ul>	tivated	IRF from tables (ETSI 38, 14, 13, 23, use general 24.5-26.5 GHz and IC 16 kHz BW: 150, 450, 850 MHz), IEEE 802.11/802.16
Display best server if SNIR >=	15 dB	IRF from NFD matrix IRF from Tx/Rx C/I
and best server offset >	3 dB	Global XPDdB C/H or V: 3 db protection
Noise floor -85 dBm Rx gain	0.00 dB	except if global XPD=0
No. arrays 1 update Rx	gain	RSRP threshold 29
MIMO adaptive switching modes (AA	S)**:	
Spatial Multiplexing		Calculates DL SNIR (PDSCH) according to the Noise floor
MILMINO (Multiuser MIMO)		stations are taken into account.
Tx Div (Transmit Diversity) - MICO		
Charle Astrone Dect (Otco	0)	
Single Antenna Port (SISO or SIM	0)	Tx bandwidth / Tx bandwidth

# Fig. 21 – Calcul de la couverture du rapport SNIR du canal PDSCH - Evaluation de la capacité du lien descendant

On ne s'intéresse qu'au SNIR du canal PDSCH (case SNIR (PDSCH) à cocher). Les 3 cases :

- Normal distrib %
- Throughput mapping
- SNIR to QCI mapping

permettent de sélectionner sous quelle forme le résultat doit être affiché. Si aucune de ces options n'est cochée, le résultat sera présenté sous la forme du rapport SNIR. Il est important de noter que ce calcul ne tient pas compte des interférences entre stations de base, qui influent pourtant sur le rapport SNIR du canal PDSCH. Pour prendre en compte les interférences intercellulaires, il est conseillé de considérer une augmentation globale du seuil de réception des stations réceptrices (noise rise).

Le champ **Noise floor** donne le seuil de réception d'un récepteur fictif, déplacé en tout point de la cartographie. Le champ **Rx Gain** permet de lui définir un gain éventuel. A noter que ces deux champs permettent de calculer le niveau de bruit pour déterminer le rapport SNIR.

Le champ **RSRP** permet de définir le seuil de réception du canal CS-RS. Si le RSRP calculé en un point de la cartographie est inférieur à ce seuil, alors le calcul du SNIR du canal PDSCH n'est pas affiché. Les options **MIMO adaptative switching modes (AAS)** permettent de sélectionner un éventuel système d'antennes multiples. Le champ **ICIC enhancement** permet d'ajouter un gain apporté par une technique de réduction des interférences intercellulaires. La figure ci-dessous présente un exemple de résultat d'une simulation avec affichage sous la forme d'un rapport SNIR.

Les valeurs de l'échelle de couleur sont données sous la forme d'un rapport C/I (Carrier on Interference).



Fig. 22 – Exemple de résultat d'un calcul de rapport SNIR du canal PDSCH

Si l'option Normal distrib % est coché, le résultat sera affiché sous la forme d'une probabilité que le rapport SNIR dépasse un seuil défini par le champ **Display best server if SNR >.** L'option **SNIR to QCI mapping** permet de faire la correspondance entre le SNIR en tout point de la cartographie et l'indicateur de qualité de service QoS Class Identifier (QCI). Enfin, l'option **Throughput mapping** permet de faire la correspondance directe entre le SNIR et la capacité (le débit maximal) en tout point de la cartographie. Ce lien s'appuie sur une table de correspondance (look-up table) entre l'indice MCS (Modulation and Coding Scheme) et donc la capacité, et le rapport SNIR minimal permettant de supporter cet indice MCS. Cette table de correspondance n'est définie par aucune recommandation 3GPP. Elle est généralement issue de simulations complexes au niveau lien. Chaque constructeur donne des recommandations sur ces tables de correspondance. ICS Telecom propose une table de correspondance par défaut, issue des recommandations du constructeur Huawei. Celle-ci peut être visualisée dans le menu **Tools/Throughput / RB vs SNIR** (Fig. 23). Cette table comporte plusieurs colonnes : la première est le rapport SNIR (dB), les quatre autres la capacité en kbits/s et par bloc de ressources pour une valeur de SNIR donnée en fonction du système d'antennes utilisé (standard, SIMO, diversité de transmission et MIMO).

Through	hput / RB vs SNI	R		1.00	×
SNIR (dB)	SIMO (Kbps)	TxDiv (Kbps)	MIMO (Kbps)	UL-STD (Kbps)	ОК
-5	42.25	45.83	43.81	39.54	
	51.80	56.49	54.04	48.23	Annuler
	62.73	68.62	65.68	58.36	
	75.17	82.31	78.88	70.07	
	89.21	97.68	93.77	83.46	Save
	104.97	114.80	110.48	98.64	
	122.54	133.75	129.13	115.67	
	141.99	154.58	149.86	134.58	Load
	163.38	177.32	172.77	155.35	
	186.74	201.96	197.98	177.92	
	212.05	228.46	225.55	202.18	Import
	239.29	256.76	255.57	227.94	
	268.38	286.72	288.07	254.98	Default
	299.20	318.20	323.07	282.98	Derduit
	331.60	351.01	360.54	311.61	
	365.37	384.89	400.45	340.45	
	400.27	419.57	442.70	369.04	
	436.02	454.72	487.16	396.90	
	472.28	490.00	533.68	423.52	
	508.69	525.01	582.04	448.38	
	544.85	559.34	631.98	4/0.99	
	580.35	592.58	683.22	490.87	
	614.74	624.28	735.42	507.58	
	647.58	654.02	/88.21	520.75	
	0/8.43	081.38	841.17	530.08	
	700.80	705.95	893.89	535.35	
	752.44	745.20	945.66	530.30	
	737.00	750.52	1045 70	530,30	
	700 55	759.51	1002 72	530.30	
	700.33	775 77	1136.08	536.56	
	805.99	777.60	1178.09	536.56	
	808 21	777 60	1215 59	536.56	
	808 21	777.60	1249.07	536.56	
	808 21	777.60	1278 13	536 56	
	808.21	777.60	1302.43	536.56	
	808.21	777.60	1321.68	536.56	
	808.21	777.60	1335.65	536.56	
	808.21	777.60	1344.16	536.56	
	808.21	777.60	1347.12	536.56	
	808.21	777.60	1347.12	536.56	
36	808.21	777.60	1347.12	536.56	

Fig. 23 – Table de correspondance Capacité - SNIR proposée par défaut par ICS Telecom

La figure 24 présente un exemple de résultat de simulation affiché sous la forme de capacité (kbits/s par RB). Dans les zones où le SNIR est important, la capacité en downlink est grande. Elle diminue au fur et à mesure que le SNIR décroit puisqu'il n'est plus possible de maintenir une modulation de forte valence et un faible taux de codage sans risque d'erreurs de transmission.



Fig. 24 – Prédiction de la capacité du lien de données descendantes

#### 3. Couverture du canal de données montantes (PUSCH)

Le menu **Statistics/Coverage/Uplink SNIR maps** fournit une cartographie du rapport SNIR du canal de données montantes (PUSCH). La méthode la plus simple et la plus rapide pour faire ce calcul est de supposer une augmentation globale du niveau de bruit des stations réceptrices (dans ce sens, les stations de base). Pour cela, cochez la case **Global Noise Rise Method**. La simulation suppose qu'un émetteur mobile fictif est déplacé en tout point de la cartographie. Afin de limiter le temps de simulation, on peut accroître le pas de déplacement de cet émetteur fictif (champ **Grid** donnant le pas en mètres). Les paramètres de cette stations émettrices fictives sont données en cliquant sur le bouton **Parameters**. Une interface similaire à celle permettant de définir les propriétés des stations fixes s'ouvre et permet de définir les paramètres radio de cet émetteur mobile fictif. Il convient de correctement remplir les champ Nominal Power, Gain/Perte, le pourcentage de puissance attribuée au canal de données.

SNIR uplink traffic map - PUSCH	1 . A 24		X
Global noise rise method	Clutter selection	All dutter No dutter	DEM selection (m)
C/N map C=wanted signal	1 V suburban	11 V user 2	max 260
N=Base station noise floor +Global noise rise	2 Vurban 8 m	12   Image: Im	MIMO adaptive switching modes (AAS)**
Pass number 1	4 ♥ urban 30 m 5 ♥ forest	14 vindoor 6 floors	Single Antenna Port (SISO or SIMO) Tx Div (Transmit Diversity) - MISO Spatial Multiplexing
C/N map C=wanted signal	6 V hydro	16 V indoor 10 floors	MU-MIMO (Multi user MIMO) enodeB antenna must be set to AAS
I=non-parented subscriber interference ICIC enhancement 0 dB	7 V urban 50 m 8 V wood	17 V indoor 15 floors	
Listing Threshold 29	9 🔽 road or roof	19 Frontier*	
IRF Station list DE	B sub Model	Parameters	Annuler START

Fig. 25 – Calcul de la couverture du rapport SNIR du canal de données montantes PUSCH

La figure 26 donne un exemple de résultat affiché sous la forme d'un rapport SNIR du canal PUSCH. Même s'il est théoriquement possible de faire la correspondance entre cette cartographie du rapport SNIR et la capacité du lien montant, il n'est pas possible de le faire automatiquement sur ICS Telecom. Il est cependant possible d'obtenir un rapport de résultat sous la forme d'un fichier .csv à l'aide du menu **Results/Result Report** et en cliquant sur le bouton **Listing**.



Fig. 26 – Exemple de résultat d'un calcul de rapport SNIR du canal PUSCH

## 4. Simulation Monte-Carlo

La simulation Monte-Carlo est une méthode courante pour déterminer les propriétés statistiques (distribution, moyenne, écart-type ...) de systèmes stochastiques complexes. Elle consiste à balayer de manière aléatoire une ou plusieurs variables aléatoires d'entrée de ce système et à observer la réponse de ce système.

Dans le cas d'un réseau cellulaire, les performances en terme de couverture et de capacité sont fortement dépendantes de la position des stations mobiles qui sont à priori inconnues. ICS Telecom propose de déterminer les probabilités de couverture du canal CS-RS et des canaux de données montants et descendants en se basant sur une simulation Monte-Carlo. L'outil part d'une distribution aléatoire de station mobile et de calcul des rapports SNIR pour chaque lien station mobile - station fixe. Ensuite, la distribution statistique de ces rapports SNIR peut être tracée et il devient possible de déduire par exemple :

- la valeur moyenne, médiane, l'écart-type de la distribution du SNIR d'un canal
- la probabilité que le SNIR soit supérieur à un certain seuil et donc d'en déduire le pourcentage de couverture d'une aire de service
- la correspondance entre la distribution statistique du SNIR des canaux PDSCH ou PUSCH et celle de la capacité des liens montants et descendants. Cela permet de vérifier si le réseau a une capacité suffisante pour écouler un trafic de données.

On accède à cette simulation via le menu Statistics/Monte-Carlo/LTE. Trois options sont proposées :

- SNIR : pour le calcul du SNIR du canal PDSCH (et donc de la capacité en lien descendant)
- RSRP : pour le calcul de la puissance RSRP du canal CS-RS
- **PUSCH** : pour le calcul du SNIR du canal PUSCH (et donc de la capacité en lien montant)

Nous ne présenterons que la configuration du calcul de SNIR sur la voie descendante. La figure 30 présente l'interface de configuration du calcul.

Monte-Carlo simulator setup (LTE)	served in such specific (Frank, St.	And and Address of the Owner of			
V. / States the second second second	Cell definition	Random stations (RS)	Variability (enodeB)		
8// (行行的際語》是認識的	Supercell	no. RS per cell (min) 100	Delta azimuth (0 to 359°)		
	Select area	no. RS per cell (max) 100	+/- 0		
	Central coordinates (metric)	Ctation parameters	Tilt (-89 to 89°)		
	576564 6276487		Min -2.00 Max 2.00		
	Radius (m) 2010	Parameter set	🕅 Antenna height (m)		
	Cell	Distribution	Min 0.01 Max 10.00		
	Number of cells per row 1	Supercell limited	Ref. signal (pc)		
Eller Strates -	@ Dandom	RSRP coverage limited	Min 1.00 Max 98.00		
	Random	Station polygon limited			
	Number of cells used 1	Do not create RS if distance	Min Lon Max Co. co.		
	Sequential	Distance (m): 500000	1.00 Max 98.00		
CALL THE THE ALL	Pass 2		Control channel (pc)		
		Clutter distribution (station-RS per Km2)	Min 1.00 Max 98.00		
Preview		Clutter/Elevation filter	Antenna mode (SNIR PDSCH only)		
nimum cize of each cell = 20 x 20 pixels			No change		
(Rx: 316.22775 W / 811.00000 MHz	Random station database (RS DB)	Random     AAS			
o file dependent	CulaTDI/ICS tologon	Spatial Multiplexing			
mples to expect (min) 2 Number of RS (max) 100 upd	C. MIDI (CS (Elecon		Tx Div (Transmit Diversity) - MISO		
pectrum collision (On map stations vs Random stations):	Database ident: RTX	Use previous database	Single Antenna Port (SISO or SIMO)		
	Calculation		MU-MIMO (Multi user MIMO)		
RSRQ required value -12 dB Create CSV report		Model			
SNIR PDSCH required value -5 dB	Max distance calculation	Multi-param / BW			
ICIC enhancement 0 dB			Station list		
RSRP threshold 29					
	Load Save Start	Annuler			

Fig. 27 – Configuration de la simulation Monte-Carlo du lien PDSCH

Les champs sous l'option Random Stations (RS) permettent de définir des bornes min et max pour le nombre de stations mobiles qui seront placées aléatoirement sur l'aire de service. L'aire de service est découpée en NxN cellules, où N est défini dans le champ **Number of cells per row**. Il est possible de générer les RS dans toutes les cellules ou uniquement dans un certain nombre choisi de manière aléatoire. Ce processus peut être répété plusieurs fois en fonction du champ **Pass**. Les zones dans lesquelles les RS sont placées peuvent être restreintes selon le type de clutter, l'altitude, un polygone donné, ou le niveau de RSRP. Par exemple, en cochant l'option **RSRP coverage limited**, les RS ne seront placés que dans les endroits où le RSRP est supérieur au seuil donné par le champ **RSRP threshold** (exprimé en dB $\mu$ V/m).

Les paramètres radio des RS sont définis en cliquant sur le bouton **Station parameters**. Une interface similaire à celle permettant de définir les propriétés des stations fixes s'ouvre et permet de définir les paramètres radio de cet émetteur mobile fictif. Il convient de correctement remplir les champ Nominal Power, Gain/Loss, le pourcentage de puissance attribuée au canal de données. L'analyse est lancée en cliquant sur Start. Le temps de calcul dépend du nombre de RS généré à chaque passe et du nombre de passe. Plus ces deux nombres sont grands, plus la distribution statistique déterminée en fin de calcul devrait converger vers "la réalité".

Durant la simulation, pour chaque RS placé, le simulateur calcul la puissance reçue par chaque station de base. On en déduit ainsi la puissance issue de la station fixe avec laquelle le RS est connecté, et celles issues de toutes les autres stations fixes (l'interférence intercellulaire). Le calcul prend donc en compte l'interférence intercellulaire ! La figure 28 présente un exemple de résultat de simulation Monte-Carlo. Le graphique de la partie supérieur présente l'évolution du SNIR du lien PDSCH en fonction des RS générés. Le SNIR varie aléatoirement. Il est possible de lire sur l'interface les valeurs min, max, médiane et l'écart type de cette distribution statistique. En entrant une valeur dans le champ **SNIR PDSCH dB** puis en cliquant sur le bouton **Rafraîchir**, on peut lire le pourcentage de RS ayant eu un SNIR supérieur ou inférieur à ce seuil (champs % **sample <** et % **sample >**). Dans l'exemple ci-dessous, on voit que 76.7 % des RS ont un lien PDSCH avec un SNIR < 10 dB. Si le nombre de positions de RS simulées est suffisamment grand, ce pourcentage est similaire à une probabilité de couverture du réseau, pour un seuil de SNIR donné.



4<sup>e</sup> année IR - BE dimensionnement d'interface radio pour réseaux mobiles

Fig. 28 – Résultat de la simulation Monte-Carlo du lien PDSCH

Ce graphique peut être exporté au format .csv en cliquant sur le bouton **Export TXT**. Une autre façon d'afficher les résultats consiste à tracer la distribution statistique des rapports SNIR. Pour cela, on clique sur le bouton **Distribution** et la fenêtre ci-dessous s'affiche. Le résultat s'affiche sous la forme d'une distribution cumulée. Par exemple, il y a 0.64 % de chance d'avoir un SNIR inférieur à -12 dB, alors qu'il y a 67.81 % de chance d'avoir un SNIR inférieur à 8.43 dB. En cliquant sur le bouton List, on obtient un fichier .csv contenant la distribution statistique sous la forme d'une densité de probabilité et d'une distribution cumulée (Figure 30). Il est ainsi possible de traiter cette distribution sous un tableur de type Excel.



Fig. 29 – Distribution statistique du SNIR du lien PDSCH

		A		В		С	D
1	######	//////////////////////////////////////					
2							
3	Value,	pc lowe	er,pc	upper,p	c e	equal	
4	-015,	0.2145	92,	99.785	i4,	0	
5	-014,	0.4291	85,	99.570	8,	0	
6	-013,	0.4291	85,	99.570	8,	0	
7	-012,	0.6437	77,	99.141	6,	0.214592	
8	-011,	0.8583	69,	98.92	7,	0.214592	
9	-010,	1.502	15,	98.497	9,	0	
10	-009,	2.789	7,	97.2103	l,	0	
11	-008,	3.648	07,	96.351	9,	0	
12	-007,	4.721	03,	95.279	),	0	
13	-006,	6.008	58,	93.562	2,	0.429185	
14	-005,	7.725	32,	92.274	7,	0	
15	-004,	9.227	47,	90.772	5,	0	
16	-003,	11.15	88,	88.626	6,	0.214592	
17	-002	12 01	72	87 982	R	0	

Fig. 30 – Export de la distribution statistique

**Remarque :** à partir de la distribution statistique du SNIR et de la table de correspondance SNIRcapacité, il est possible d'en déduire la distribution statistique de la capacité du lien PDSCH. La valeur moyenne de la capacité ou la probabilité d'obtenir une capacité supérieure à un seuil donné peuvent alors être extraite.

## IX. Edition de rapports - Impression des résultats

#### 1. Rapports de résultats

Le menu **Options/Report** donne accès à des outils fournissant différents types de rapports au format CSV sur les résultats de simulation. Deux outils sont détaillés ici :

- Coverage report : après une analyse de couverture radio (Coverage/Network calculation par exemple), le rapport donne la surface couverte par chaque émetteur
- Result report : les résultats affichés sur une carte (couverture, nombre de serveurs, rapport signal à bruit ...) sont indiqués à l'aide d'un code couleur. Ce rapport donne la surface occupée par chaque zone avec un code couleur donné. Cet outil est donc plus général que Coverage report.

#### 2. Impression des résultats

Le menu **File/Print** propose différents outils d'impression des résultats. Le menu **File/Print/Print map** permet d'imprimer la cartographie, avec ou sans les objets superposés. Le menu **File/Print/Print layout** propose une interface permettant de construire des rapports sur mesure, intégrant cartographies, légendes, commentaires, images... Le principe consiste à choisir les éléments à imprimer et à les positionner sur la page par une action de drag-and-drop. Un clic droit sur les objets placés ouvre une fenêtre pop-up afin de modifier leurs propriétés.



Fig. 31 – Fenêtre Print layout