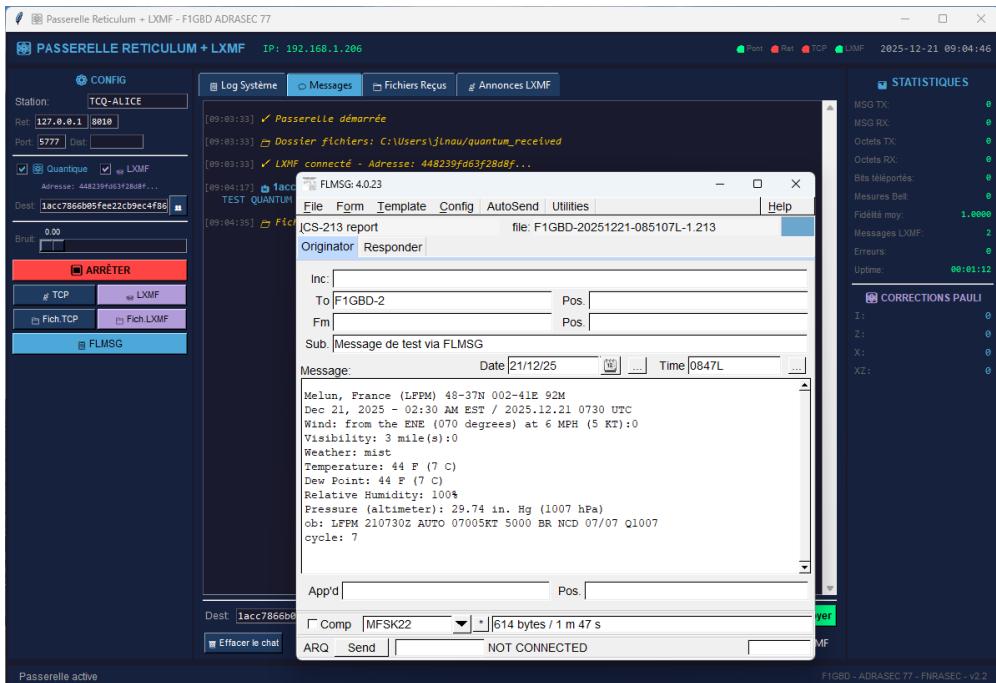


## MEMO – TCQ v2.2 pour Reticulum par F1GBD (ADRASEC 77) – 21 décembre 2025

La passerelle TCQ (Reticulum + LXMF) est une application de communication pour radioamateurs permettant d'échanger des messages et fichiers via :

- **TCP/IP** : Communication directe entre stations en réseau local
- **LXMF** : Protocole de messagerie sur réseau mesh hybride Reticulum
- **RADIO** : avec RNSvaraMULTI v3.2 (VARA HF, VARA FM, VARA SAT) ou RNStnc v1.0.0 (VR N-76)
- **LoRA** : avec des modules Heltec LoRA 868 v3.2
- **Simulation Quantique** : Téléportation quantique simulée avec mesures de Bell



### Fonctionnalités principales

Fonctionnalité	Description
<b>Compatible FLmsg</b>	Envoi et Réception de messages formattés (ICS-213, MARS Army, ...)
<b>Chat bidirectionnel</b>	Interface de messagerie temps réel
<b>Transfert de fichiers</b>	Envoi/réception de fichiers via TCP et LXMF
<b>Découverte de nœuds</b>	Détection automatique des stations LXMF
<b>Groupes LXMF</b>	Envoi de messages à plusieurs destinataires
<b>Mode Quantique</b>	Téléportation simulée (activable/désactivable)
<b>Configuration JSON</b>	Paramètres persistants dans setup.json

### Compatibilité

- **MeshChat** : Compatible via LXMF
- **Sideband** : Compatible via LXMF
- **NomadNet** : Compatible via LXMF
- **Autres stations** : Via TCP direct, RADIO (RNSvara ou RNStnc) ou LoRA (via modules Heltec)

## **Note de mise à jour TCQ v2.2 (21/12/2025) :**

- ouvre automatiquement FLmsg à réception msg d'un fichier supporté (ICS-213, Mars ARMY, ...)
- bouton de lancement de FLmsg ajouté sur la page principale de TCQ,
- affichage des noms des stations RNS plus clair dans la page Annonces LXML
- notification sonore paramétrable à réception d'un message ou d'un fichier,
- l'adresse LXML d'un expéditeur s'ajoute automatiquement à réception dans le champ Dest

### **1. Installation**

#### **2.1 Prérequis**

- RNS (Reticulum Network Stack)
- LXML
- En option RNSvara v3.2 avec VARA HF, FM ou SAT
- FLmsg est optionnel mais recommandé

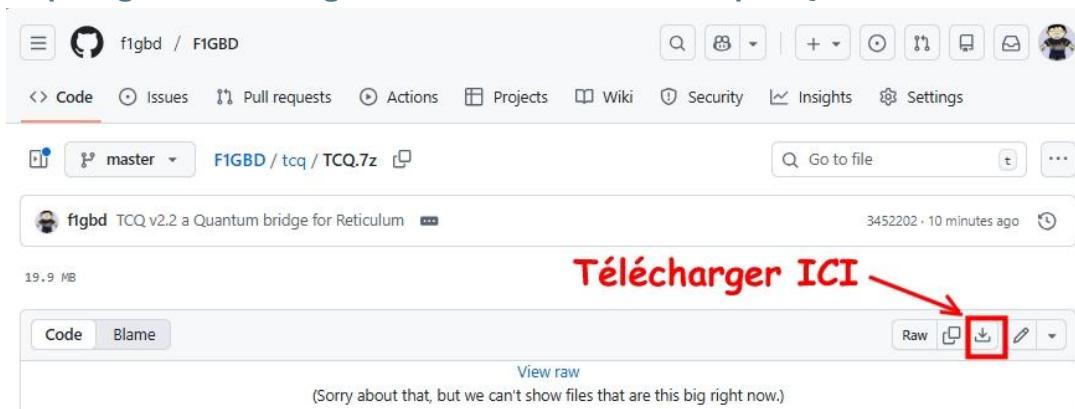
**TCQ v2.2** est une application complète (Reticulum Meshchat ou Nomadnet ne sont pas obligatoires). Vous pouvez installer simplement RNS et LXML via la commande terminale :

**pip install rns lxml --break-system-packages**

Néanmoins, je recommande d'installer Reticulum Meshchat pour plus de facilité de paramétrage du système de communications hybrides Reticulum.

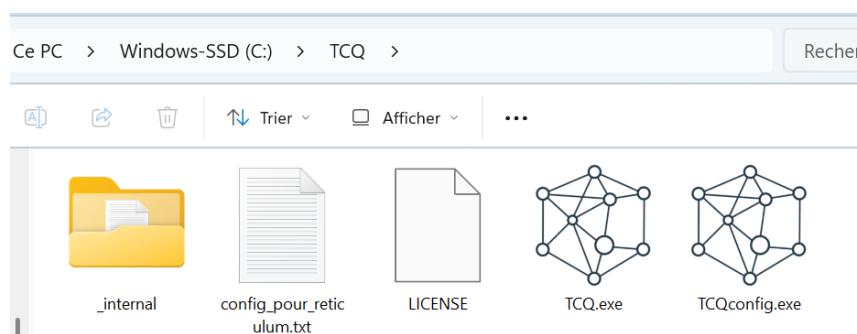
Téléchargez l'application TCQ.7z à :

<https://github.com/f1gbd/F1GBD/blob/master/tcq/TCQ.7z>



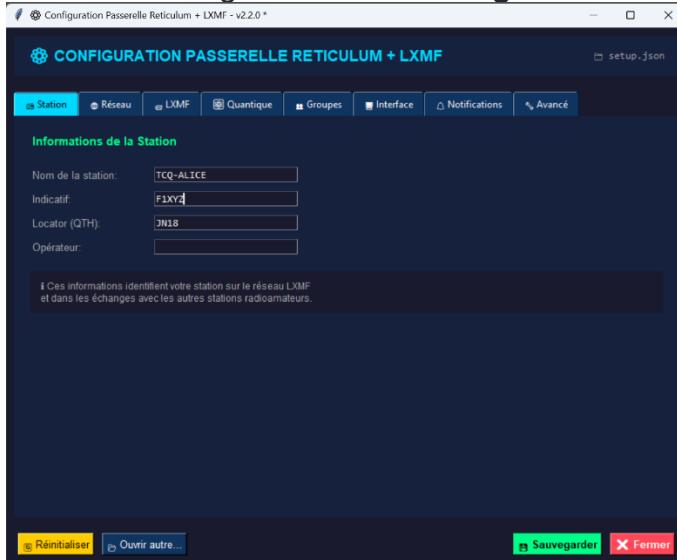
Il y a deux programmes dans le dossier c:\TCQ

- Le programme **TCQconfig.exe** vous permet de paramétrer TCQ
- Le programme principal après le paramétrage est **TCQ.exe**



## 2. Configuration

Lancez le configurateur TCQconfig.exe :



Les paramètres sont enregistrés dans le fichier \_internal\setup.json :

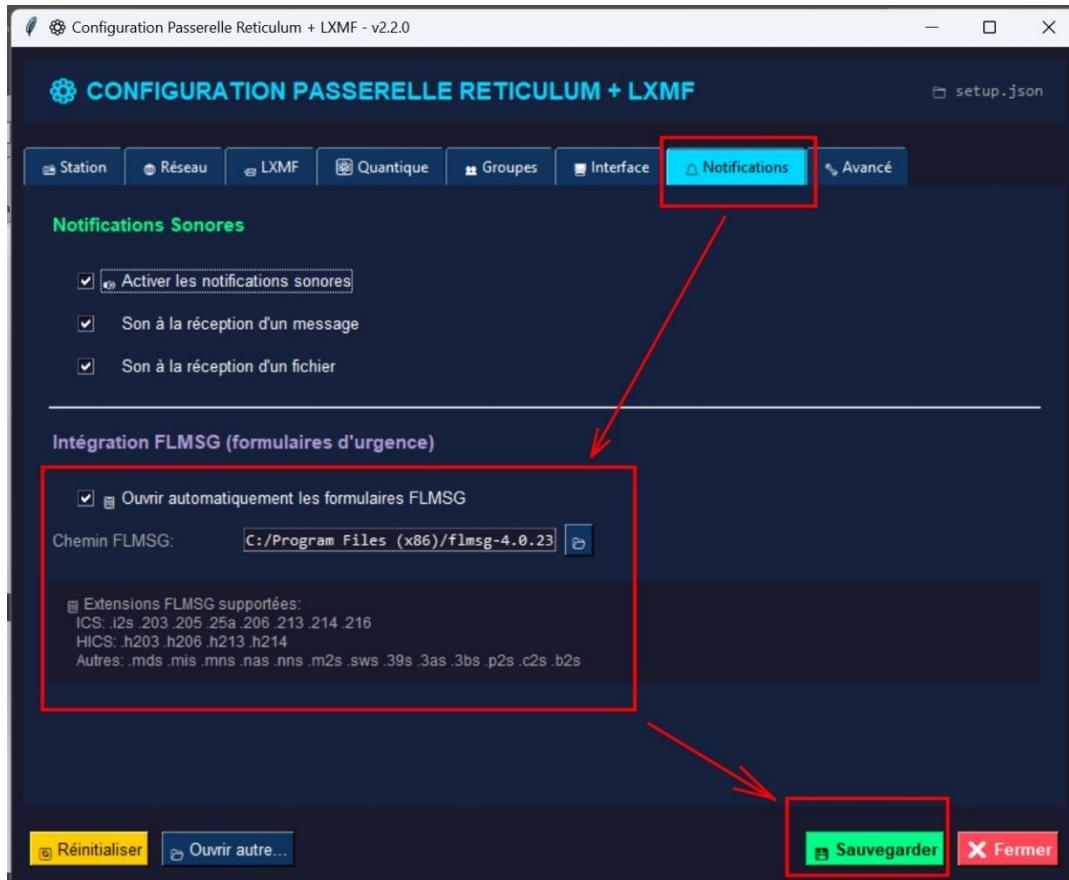
```
{
  "station": {
    "name": "TCQ-ALICE",
    "callsign": "F1GBD",
    "locator": "JN18",
    "operator": ""
  },
  "network": {
    "reticulum_host": "127.0.0.1",
    "reticulum_port": 8010,
    "quantum_port": 5777,
    "remote_host": "",
    "remote_port": 5777
  },
  "lxmf": {
    "enabled": true,
    "auto_announce": true,
    "announce_interval": 600,
    "storage_path": "~/.quantum_lxmf",
    "groups": {}
  },
  "quantum": {
    "enabled": true,
    "noise_level": 0.0,
    "error_correction": true,
    "fidelity_threshold": 0.95
  },
  "paths": {
    "received_files": "C:\\\\Users\\\\jlnau/quantum_received",
    "logs": "~/quantum_logs",
    "flmsg_path": "C:/Program Files (x86)/flmsg-4.0.23/flmsg.exe"
  },
  "notifications": {
    "sound_enabled": true,
    "sound_message": true,
    "sound_file": true,
    "auto_open_flmsg": true
  },
  "gui": {
    "window_width": 1100,
    "window_height": 650,
    "theme": "dark",
    "show_quantum_details": true,
    "auto_scroll_log": true,
    "fullscreen": true
  },
  "advanced": {
    "tcp_timeout": 30,
    "heartbeat_interval": 30,
    "max_retries": 3,
    "buffer_size": 65536
  }
}
```

Le fichier **config** pour Reticulum RNS qui est dans le dossier **.reticulum\** est disponible au format texte

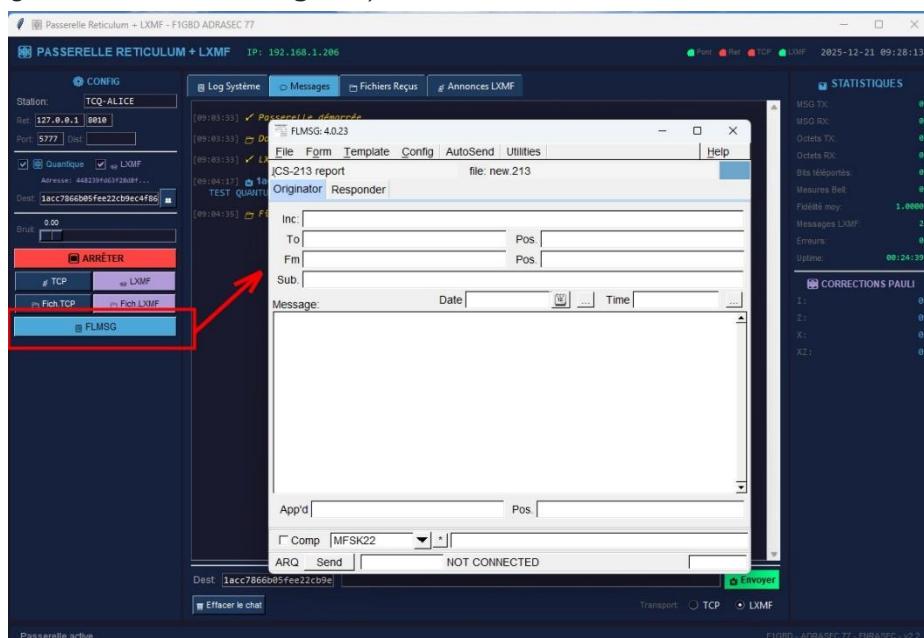
« config\_pour\_reticulum.txt » dans le dossier TCQ,

Copiez simplement son contenu dans le fichier "C:\Users\user\.reticulum\config"

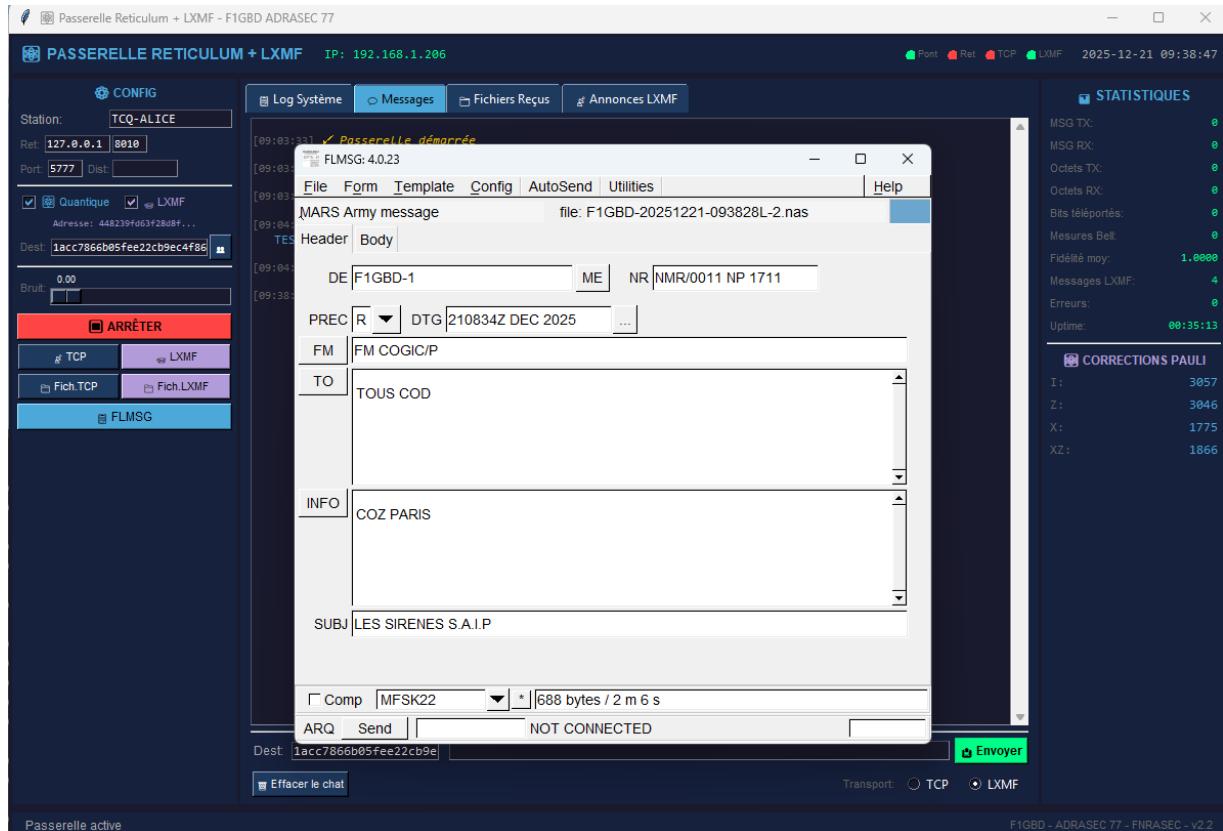
Si vous avez installé l'application FLmsg pour vos missions Adrasec, il faut paramétriser le chemin d'accès à l'application **FLmsg** dans l'application **TCQconfig.exe** (onglet Notifications). Dans ce cas, TCQ ouvrira automatiquement FLmsg avec le message reçu.



En cliquant sur le bouton **FLMSG**, FLmsg s'ouvrira automatiquement (si le chemin de l'application a été correctement enregistré avec **TCQconfig.exe**).

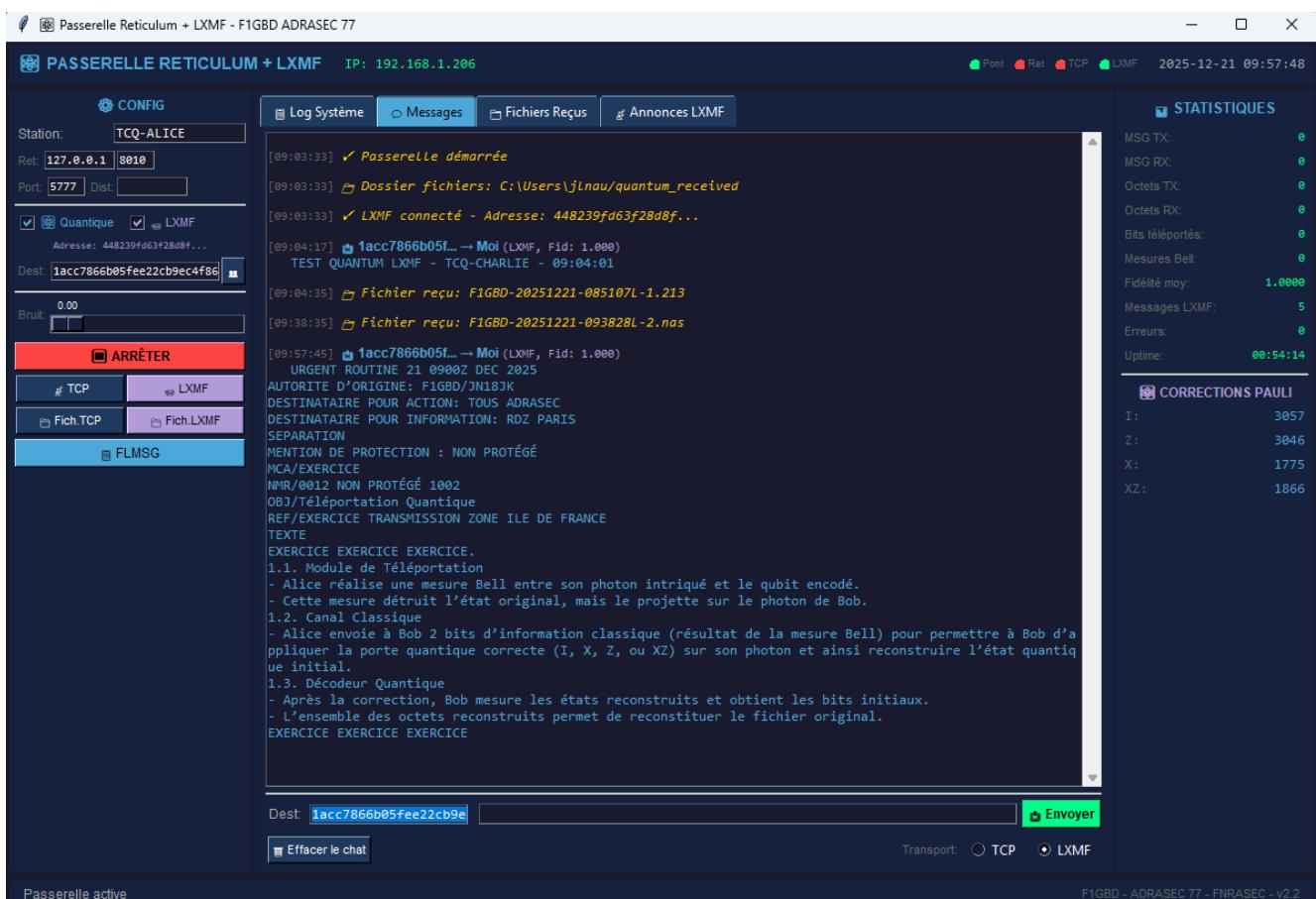


Si un message compatible avec FLmsg est reçu, il s'ouvrira automatiquement avec un "bip" de notification... Par exemple ici, un message au format MARS Army.



### 3. Interface Utilisateur

#### 3.1 Disposition générale



## **4.2 Panneau de configuration (gauche)**

- **Station** : Nom de votre station
- **Ret** : Adresse et port Reticulum
- **Port** : Port d'écoute de la passerelle
- **⌘ Quantique** : Active/désactive la téléportation quantique
- **✉ LXMF** : Active/désactive LXMF
- **Dest** : Destination LXMF (hash ou @groupe)
- **👥** : Gestion des groupes
- **Bruit** : Niveau de bruit quantique
- **▶ DÉMARRER** : Lance la passerelle

## **4.3 Onglets centraux**

### Log Système

Journal des événements avec codes couleur :

- ● Info
- ● Succès
- ● Warning
- ● Erreur
- ● LXMF
- ● Quantique

### Messages (Chat)

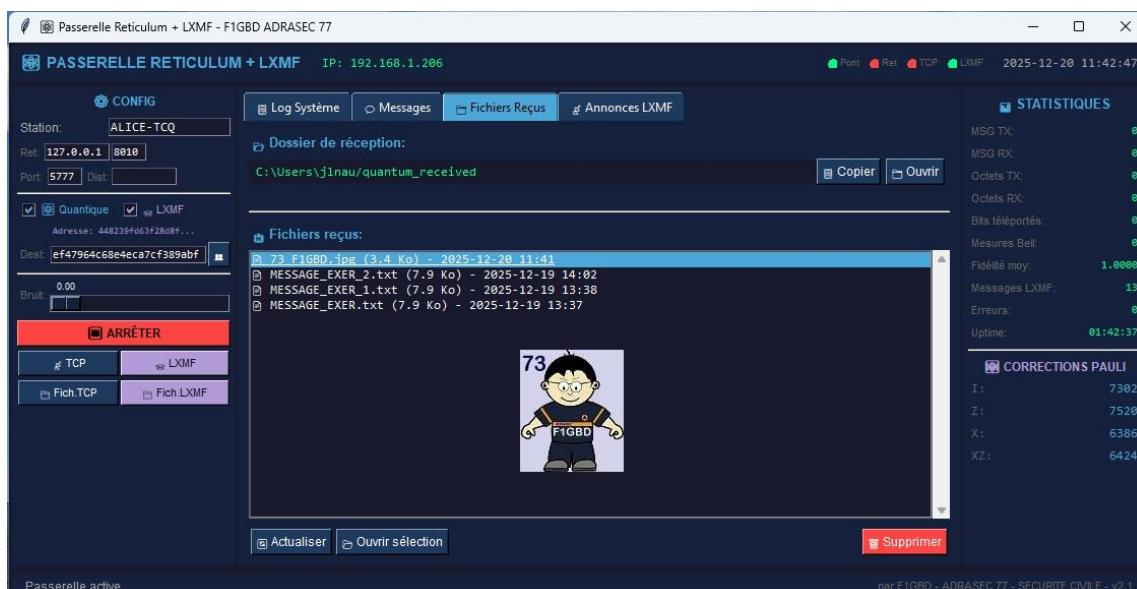
Interface de chat bidirectionnelle :

- Sélection du transport (TCP/LXMF)
- Historique des messages
- Indicateur de fidélité quantique

### Fichiers Reçus

Gestionnaire de fichiers :

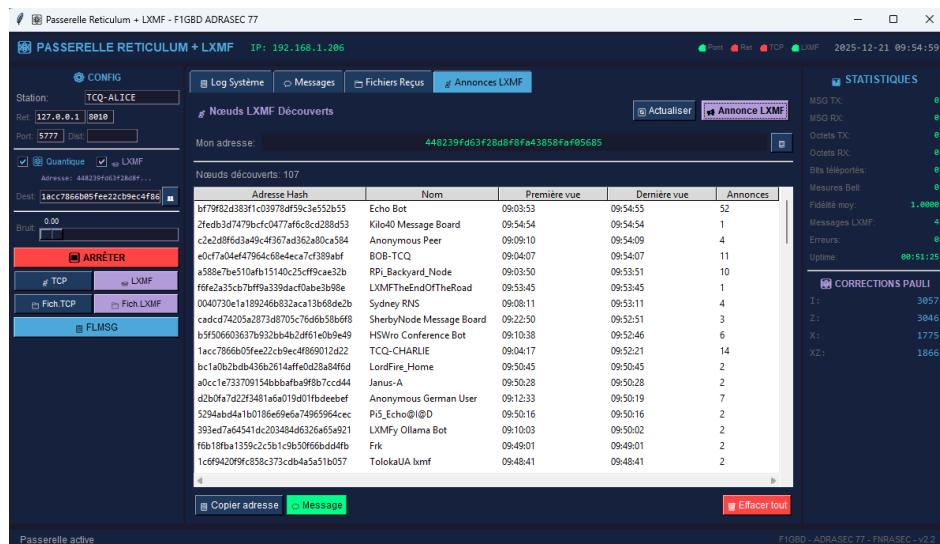
- Liste des fichiers reçus
- Actions : Ouvrir, Supprimer, Rafraîchir
- Ouvrir le dossier



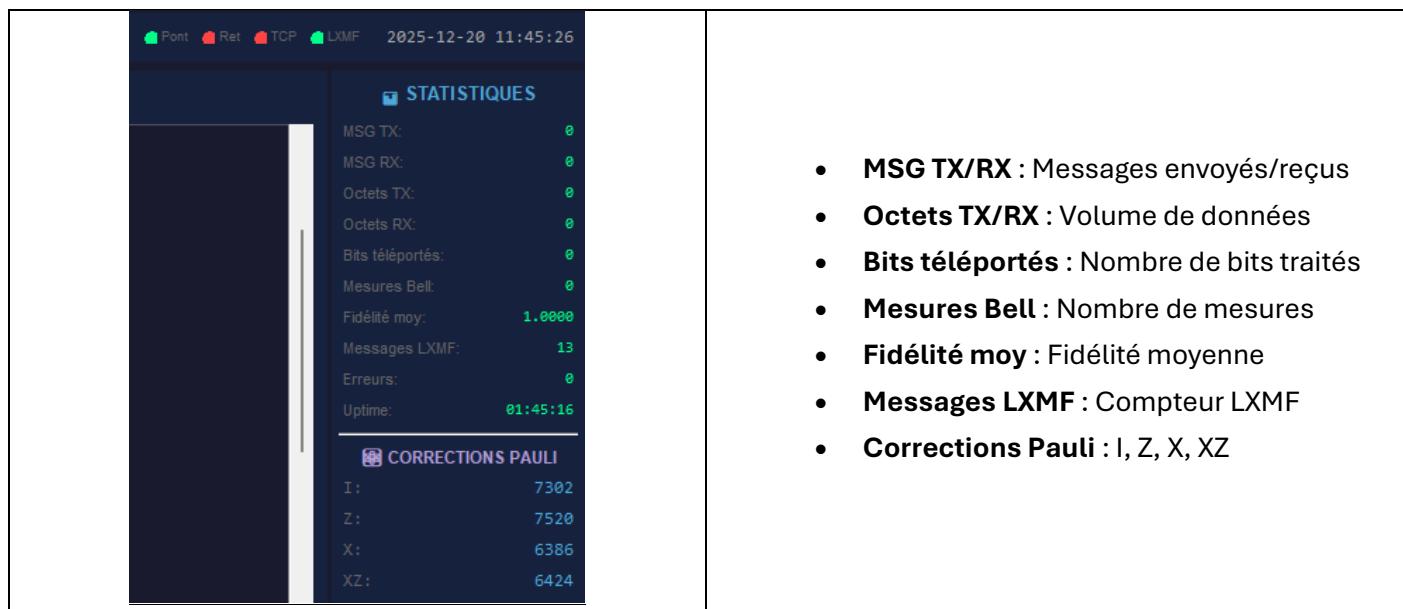
## Années LXMF

Découverte des nœuds :

- Liste des stations découvertes
- Adresse, Nom, Première/Dernière vue
- Actions : Copier, Envoyer message



## 4.4 Panneau de statistiques (droite)



## 4.5 Indicateurs d'état

Indicateur	Signification
Pont	Passerelle active
Ret	Connexion Reticulum OK
TCP	Station distante connectée
LXMF	Pont LXMF actif

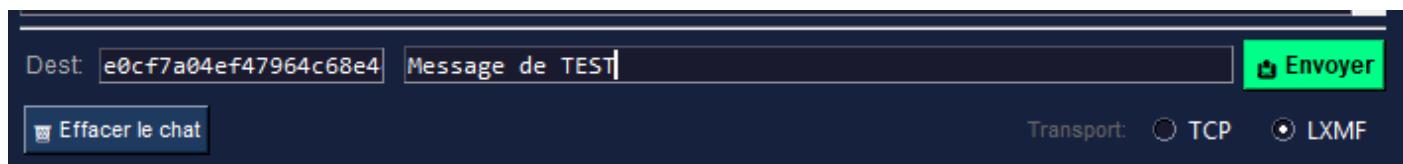
## 5 Envoi de messages

### Via TCP (station directe)

1. Entrer l'IP de la station distante
2. Cliquer sur ► DÉMARRER
3. Dans l'onglet Chat, sélectionner **TCP**
4. Taper le message et appuyer sur Entrée

### Via LXML (réseau mesh)

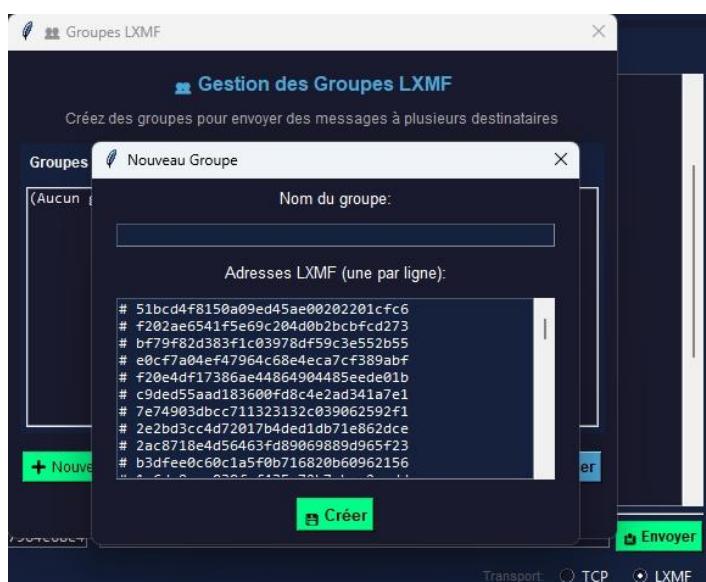
1. Activer **LXMF**
2. Entrer l'adresse LXML de destination (32 caractères hex)
3. Dans l'onglet Chat, sélectionner **LXMF**
4. Taper le message et appuyer sur Entrée
- 5.



### 5.1 Groupes LXML

#### Créer un groupe

1. Cliquer sur à côté du champ Dest
2. Cliquer sur **Nouveau**
3. Entrer le nom du groupe
4. Ajouter les adresses LXML (une par ligne)
5. Cliquer sur **Créer**



#### Envoyer à un groupe

1. Dans le champ Dest, entrer @nom\_groupe
2. Le message sera envoyé à tous les membres

## **5.2 Mode Quantique**



- **Activé** (⌘ coché) : Les données sont téléportées via simulation quantique
- **Désactivé** : Les données sont envoyées directement

Le mode quantique ajoute :

- Mesures de Bell
- Corrections de Pauli
- Calcul de fidélité
- Statistiques détaillées

## **6. Simulation Quantique**

La téléportation quantique utilise :

1. **États de Bell** : Paires EPR intriquées ( $|\Phi+\rangle$ ,  $|\Phi-\rangle$ ,  $|\Psi+\rangle$ ,  $|\Psi-\rangle$ )
2. **Mesures de Bell** : Projection sur la base de Bell
3. **Corrections de Pauli** :
  - I : Identité (pas de correction)
  - Z : Correction de phase
  - X : Bit flip
  - XZ : Combinaison

### **6.1 Qu'est-ce que la téléportation quantique ?**

La **téléportation quantique** est un protocole qui permet de transférer l'état quantique d'une particule vers une autre particule distante, sans transférer physiquement la particule elle-même.

⚠ **Attention** : Ce n'est PAS comme dans Star Trek ! On ne téléporte pas de la matière, mais de l'**information quantique**.

### **6.2 Pourquoi simuler cela dans un logiciel radio ?**

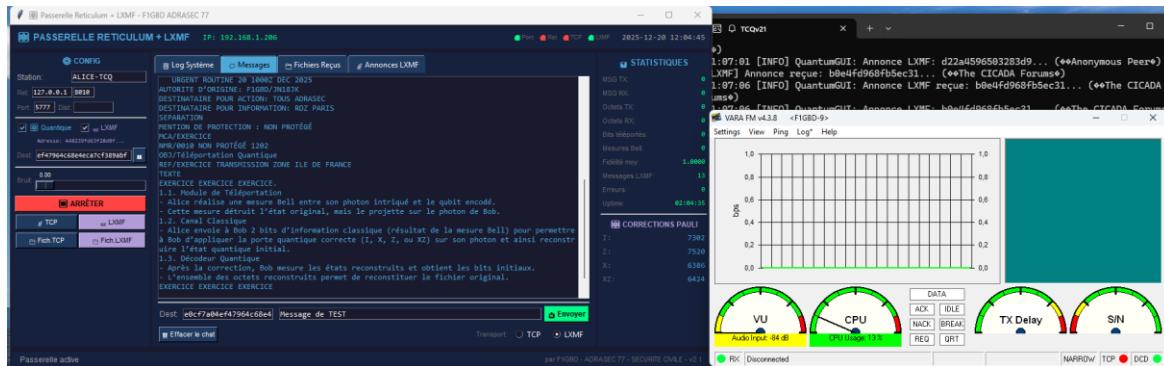
Le programme TCQ simule la téléportation quantique pour :

1. **Pédagogie** : Comprendre les concepts de l'informatique quantique
2. **Démonstration** : Visualiser le processus de téléportation
3. **Expérimentation** : Tester l'effet du bruit sur la transmission
4. **Innovation** : Explorer de nouvelles approches de communication

### **6.3 Analogie avec la radio**

Concept Quantique	Analogie Radio
Qubit	Signal modulé (amplitude + phase)
Superposition	Signal multi-fréquence (FFT)
Intrication	Deux émetteurs synchronisés

Concept Quantique	Analogie Radio
Mesure	Démodulation du signal
Téléportation	Transmission avec correction d'erreur



## 6.4. Concepts fondamentaux

- Le Bit Classique vs le Qubit

**Bit classique (ce que vous connaissez)**

Bit = 0 OU Bit = 1

C'est comme un interrupteur : allumé ou éteint.

- Qubit (bit quantique)

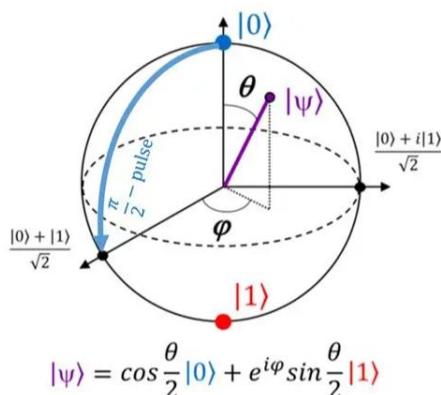
Qubit =  $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$

où  $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$

Un qubit est une superposition de 0 et 1 simultanément !

- Exemples d'états :

État	$\alpha$	$\beta$	Signification
$ 0\rangle$	1	0	"Zéro classique"
$ 1\rangle$	0	1	"Un classique"
$ +\rangle$	$1/\sqrt{2}$	$1/\sqrt{2}$	Superposition égale
$ -\rangle$	$1/\sqrt{2}$	$-1/\sqrt{2}$	Superposition avec phase



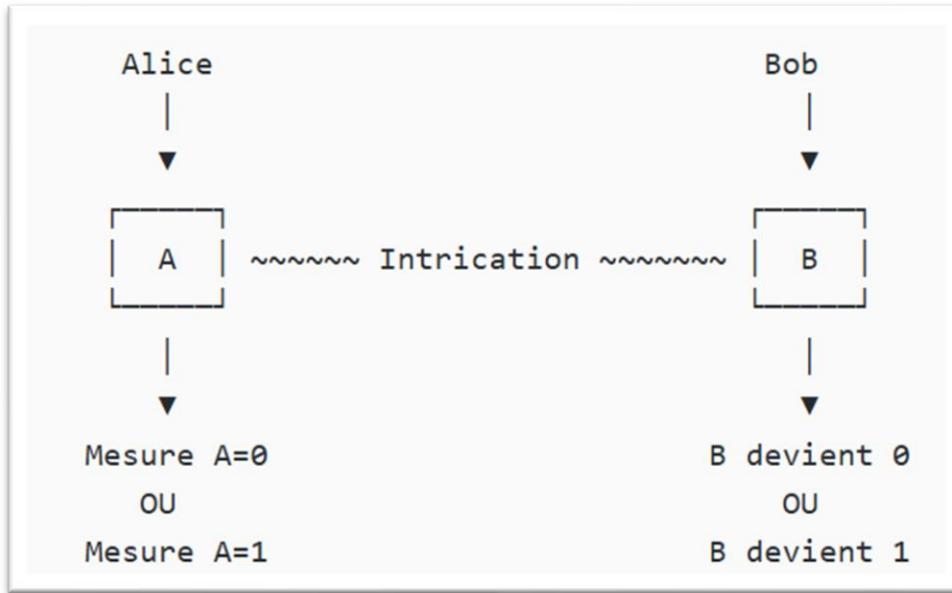
Le **qubit** peut être n'importe où (entre 0 et 1) sur cette sphère de Bloch !

## 6.2 L'intrication quantique

L'intrication (ou enchevêtrement) est le phénomène le plus étrange de la mécanique quantique.

### Le principe

Deux particules intriquées forment un système inséparable : mesurer l'une affecte instantanément l'autre, quelle que soit la distance !



### Les États de Bell

Les états de Bell sont les 4 états maximalement intriqués de 2 qubits :

$$|\Phi+\rangle = (|00\rangle + |11\rangle) / \sqrt{2} \quad \text{"Bell 0" - Les deux pareils}$$

$$|\Phi-\rangle = (|00\rangle - |11\rangle) / \sqrt{2} \quad \text{"Bell 1" - Les deux pareils (phase -)}$$

$$|\Psi+\rangle = (|01\rangle + |10\rangle) / \sqrt{2} \quad \text{"Bell 2" - Les deux opposés}$$

$$|\Psi-\rangle = (|01\rangle - |10\rangle) / \sqrt{2} \quad \text{"Bell 3" - Les deux opposés (phase -)}$$

## 6.3 La mesure quantique

La mesure est l'acte d'observer un système quantique. Elle a un effet irréversible !

### Avant la mesure

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

Le qubit est dans les deux états à la fois.

### Après la mesure

Probabilité  $|\alpha|^2 \rightarrow$  résultat 0, état devient  $|0\rangle$

Probabilité  $|\beta|^2 \rightarrow$  résultat 1, état devient  $|1\rangle$

Le qubit "s'effondre" sur un seul état.

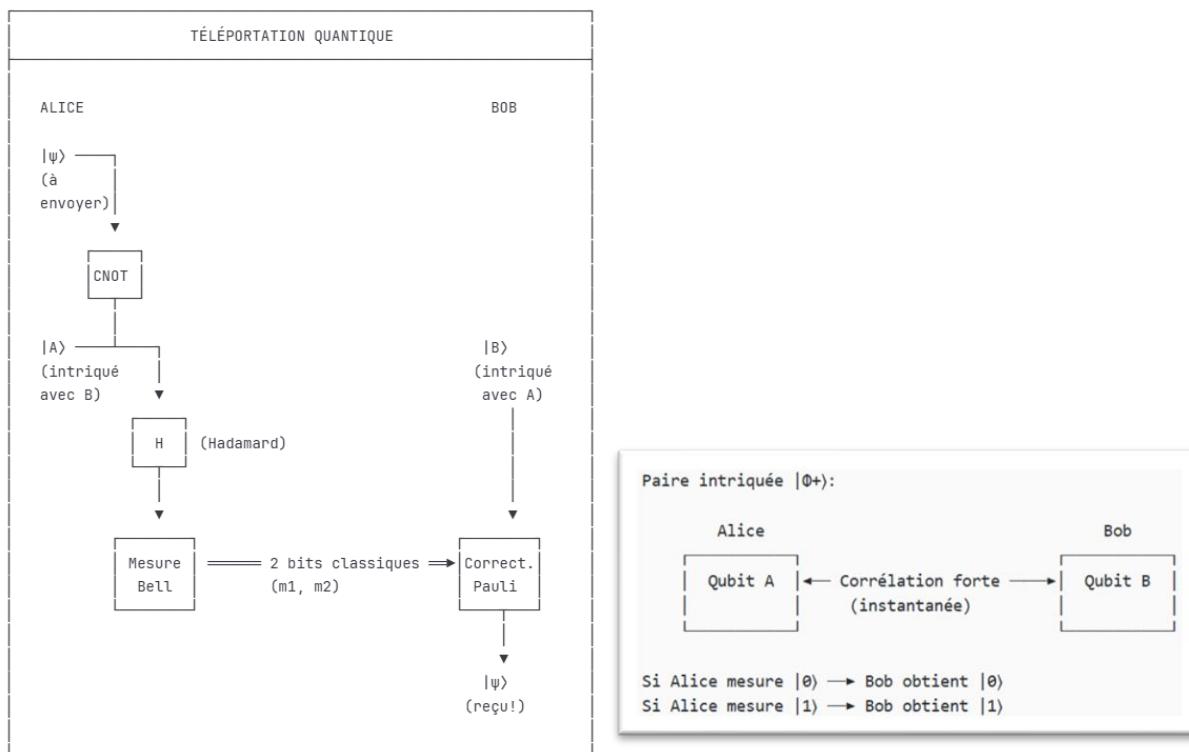
**Analogie radio :** C'est comme si vous aviez un signal qui contient deux fréquences superposées, et qu'en le démodulant, vous ne pouviez en extraire qu'une seule, de façon aléatoire.

## 7. Le protocole de téléportation

## 7.1 Vue d'ensemble

La téléportation quantique permet à **Alice** d'envoyer l'état d'un qubit à **Bob**, en utilisant :

- Une paire de qubits intriqués (partagée à l'avance)
  - Un canal classique (2 bits d'information)



## 7.2 Pourquoi ça marche ?

Le "*truc*" réside dans l'intrication :

1. La mesure d'Alice affecte instantanément l'état de Bob
  2. Mais l'état de Bob dépend du résultat de mesure (aléatoire)
  3. Les bits classiques permettent à Bob de "corriger" pour retrouver  $|\psi\rangle$

 **Théorème de non-clonage** : On ne peut pas copier un état quantique inconnu. La téléportation détruit l'original chez Alice !

## **8. Expériences pratiques**

## **8.1 Expérience 1 : Observer la téléportation**

1. Lancez le programme TCQv21.exe
  2. Activez le mode quantique ( Quantique coché)
  3. Réglez le bruit à **0.0** (curseur à gauche)
  4. Envoyez un message court : "TEST"
  5. Observez dans le log :
    - o "Téléportation TCP: 4 octets (32 bits)"
    - o La fidélité devrait être ~1.00
  6. Dans les statistiques, notez :
    - o **Bits téléportés** : 32
    - o **Mesures Bell** : 32
    - o **Fidélité mov** : ~1.00

## **8.2 Expérience 2 : Effet du bruit**

1. Réglez le bruit à **0.1**
2. Envoyez le même message "TEST"
3. Observez la différence :
  - o Fidélité réduite (~0.98)
  - o Distribution des corrections de Pauli
4. Augmentez progressivement le bruit :
  - o 0.2 : Fidélité ~0.92
  - o 0.3 : Fidélité ~0.85
  - o 0.5 : Fidélité ~0.75 (limite pratique)

## **8.3 Expérience 3 : Statistiques des corrections**

1. Réglez le bruit à **0.0**
2. Envoyez un long message (100+ caractères)
3. Observez les corrections de Pauli :
  - o I: ~25% (pas de correction)
  - o Z: ~25% (correction de phase)
  - o X: ~25% (bit flip)
  - o XZ: ~25% (les deux)
4. Cette distribution uniforme confirme que les mesures de Bell sont aléatoires !

## **8.4 Expérience 4 : Comparaison quantique/direct**

1. Envoyez un fichier de 10 KB avec le mode quantique activé
  - o Notez le temps et la fidélité
2. Désactivez le mode quantique
3. Envoyez le même fichier
  - o Comparez les performances
4. Conclusion : Le mode quantique est plus lent mais ajoute une couche de simulation éducative.

## **8.5 Expérience 5 : Analyse des erreurs**

1. Réglez le bruit à **0.3**
2. Envoyez un fichier texte connu
3. Comparez le fichier reçu avec l'original : **original.txt Vs recu.txt**
4. Les erreurs sont dues au bruit quantique simulé !

---

## **9. Glossaire**

Terme	Définition
<b>Qubit</b>	Bit quantique, superposition de 0 et 1
<b>Superposition</b>	État où un qubit est 0 ET 1 simultanément
<b>Intrication</b>	Corrélation quantique entre deux particules
<b>État de Bell</b>	État maximalement intriqué de 2 qubits
<b>Mesure</b>	Observation qui "effondre" l'état quantique
<b>Porte quantique</b>	Opération sur un ou plusieurs qubits
<b>Hadamard (H)</b>	Porte créant une superposition

Terme	Définition
CNOT	Porte à 2 qubits (contrôle + cible)
Pauli X	Bit flip (échange 0 ↔ 1)
Pauli Z	Phase flip (change le signe de $ 1\rangle$ )
Fidélité	Mesure de ressemblance entre 2 états
Canal classique	Canal de communication non-quantique
Bruit dépolarisant	Modèle de bruit quantique

## 10. Applications radioamateurs futures

- QKD sur VHF/UHF** : Distribution de clés quantiques par radio
- Répéteurs quantiques** : Extension de la portée des liens quantiques
- Réseaux mesh quantiques** : Intrication distribuée

Tableau Comparatif

Aspect	Simulation TCQ v2.1	Réalité Physique
Qubits	Vecteurs numpy 2D	Photons polarisés, ions piégés, spins...
Paires EPR	Objet Python (corrélations simulées)	Photons intriqués (création physique)
Mesure de Bell	Tirage aléatoire pondéré	Détection de coïncidences de photons
Canal quantique	Non nécessaire (simulation)	Fibre optique ou espace libre
Canal classique	TCP/IP, LXMF Reticulum ou RADIO (VARA, TNC, LoRA)	Tout canal classique
Corrections Pauli	Calcul matriciel ou logique simple	Rotations de polarisation ou phases
Fidélité	~100% (idéale)	80-99% (avec pertes)
Taux	Limité par CPU/réseau	kHz à MHz
Coût	~0€	Millions d'euros

## Valeur Éducative

La simulation TCQ est utile pour:

- Comprendre le protocole**: Le flux de données et les étapes sont identiques
- Visualiser les statistiques**: Distribution des corrections de Pauli
- Tester l'intégration**: Vérifier que le protocole fonctionne avant implémentation réelle
- Former les opérateurs**: Familiarisation avec les concepts quantiques

73 de F1GBD (Jean-Louis) et 88 de F4JHW (Aline)

<https://github.com/f1gbd/F1GBD>