

# Formation Communication Quantique et Cryptographie

## Présentation

Cette formation avancée aborde la communication quantique et la cryptographie quantique sous l'angle de l'ingénierie, de la sécurité et du déploiement. Sur trois jours, les participants concevront des protocoles de distribution de clés (QKD), évalueront les modèles de menace et les preuves de sécurité, et optimiseront l'intégration avec les infrastructures classiques (réseaux, PKI, HSM).

Les TP s'appuient sur des simulateurs et des scénarios proches de la production pour produire des livrables auditables (paramétrage, métriques, rapports de risque).

Durée : 21,00 heures (3 jours)

Tarif INTRA : Nous consulter

## Objectifs de la formation

- Concevoir une architecture de communication quantique intégrée à un SI (liens QKD, nœuds, orchestration, KMS)
- Optimiser et évaluer la sécurité de protocoles QKD (BB84/variantes), canaux, erreurs et fuites d'information
- Évaluer les modèles de menace, hypothèses et preuves de sécurité (information-theoretic, composabilité)
- Concevoir l'intégration crypto classique : usage des clés QKD (OTP, AES, TLS/IPsec), PKI et rotation
- Optimiser un plan de déploiement et d'exploitation (métriques, observabilité, SLA, conformité, gouvernance)
- Évaluer l'impact de la cryptographie post-quantique et définir une stratégie hybride PQC+QKD

## Prérequis

- Maîtrise de la cryptographie classique : chiffrement symétrique/asymétrique, signatures, hachage
- Connaissances réseaux : TCP/IP, routage de base, TLS/IPsec, notions de latence/bande passante



- Compréhension de la gestion de clés : PKI, rotation, stockage (HSM/keystore) et politiques d'accès
- Notions de probabilités/statistiques et d'algèbre linéaire (souhaitables)

## Public

- Ingénieurs sécurité, architectes réseau, cryptographes applicatifs, responsables SSL, consultants et leads techniques intervenant sur des infrastructures critiques.
- Contextes : grands comptes, opérateurs, défense, finance, secteurs régulés, projets de modernisation crypto et exigences de souveraineté.
- Expérience attendue : maîtrise des bases de cryptographie classique, réseaux IP et principes de sécurité (PKI, TLS, gestion de clés).

## Programme de la formation

### Jour 1 – Fondations QKD et architecture de communication quantique

#### Session du matin :

- Architecture de communication quantique : lien quantique, canal classique authentifié, nœuds de confiance vs répéteurs (état de l'art)
- Protocoles QKD : BB84, bases, sifting, estimation d'erreur (QBER) et paramètres de session
- Chaîne de traitement : correction d'erreurs (EC) et amplification de confidentialité (PA) – rôle et coûts

#### Session de l'après-midi :

- Contraintes physiques et réseau : pertes, bruit, horloge/synchronisation, impact sur le key rate
- Gestion et distribution des clés : KMS, buffers, politiques de consommation et rotation
- Interfaçage SI : APIs, journalisation, traçabilité et séparation des responsabilités

**TP / Exercice :**

- Simuler une session BB84 sur canal bruité : générer qubits, exécuter sifting, calculer QBER, appliquer une correction d'erreurs simplifiée et une amplification de confidentialité paramétrée. Livrable : notebook avec métriques (QBER, key rate, taux d'abandon) et recommandations de paramètres.

**Points clés & takeaways :**

- Concevoir une chaîne QKD de bout en bout et interpréter les métriques clés (QBER, key rate)
- Identifier les points de fragilité (pertes, bruit, synchronisation) et leurs impacts opérationnels
- Structurer l'intégration SI via un KMS et des politiques de consommation de clés

**Jour 2 – Sécurité, preuves, attaques et stratégie hybride (QKD + PQC)****Session du matin :**

- Hypothèses de sécurité : authentification du canal classique, confiance matériel, modèles de fuites
- Preuves et composabilité : notions de sécurité informationnelle, paramètres epsilon, marges et validation
- Attaques et contre-mesures : photon-number-splitting, attaques par canal auxiliaire, déni de service

**Session de l'après-midi :**

- Décoy states (initiation avancée) : principe, gains de sécurité, impacts sur le débit
- Cryptographie post-quantique : objectifs, intégration dans TLS et limites opérationnelles
- Stratégie hybride : scénarios d'usage, critères de choix, politique de transition et gestion des risques

**TP / Exercice :**

- Analyser un scénario d'attaque sur QKD (bruit induit, pertes ciblées, DoS) : détecter via métriques, ajuster seuils, documenter preuves et décisions d'arrêt/reprise. Construire une matrice de risques comparant PQC, QKD et

hybride pour un cas d'usage (TLS/IPsec). Livrable : rapport de sécurité (constats, seuils, contre-mesures) + matrice de décision.

**Points clés & takeaways :**

- Évaluer un modèle de menace QKD et relier hypothèses, preuves et paramètres de sécurité
- Identifier les attaques réalistes et définir des contre-mesures exploitables
- Définir une stratégie hybride PQC+QKD alignée sur le risque et l'opérabilité

**Jour 3 – Intégration production : TLS/IPsec, exploitation, SLA et gouvernance****Session du matin :**

- Intégration des clés QKD : modèles d'usage (OTP, AES), rotation, dérivation et séparation des clés
- Cas d'intégration : TLS/IPsec (surcouches), segmentation réseau, multi-sites et contraintes de latence
- Observabilité et exploitation : métriques (key rate, QBER, buffer), alerting, capacity planning

**Session de l'après-midi :**

- Résilience : gestion de panne de lien, bascule, dégradation contrôlée et politiques de continuité
- Conformité et gouvernance : traçabilité, audits, gestion des accès, exigences secteur régulé
- Industrialisation : runbooks, procédures de re-test, tests de charge et revue d'architecture

**TP / Exercice :**

- Intégrer un flux de clés QKD simulé dans un scénario de chiffrement applicatif : rotation, consommation, épuisement de buffer et bascule sur stratégie hybride. Construire un tableau de bord minimal (métriques + alertes) et un runbook d'exploitation. Livrable : configuration d'intégration + dashboard + runbook (SLA, seuils, procédures).

**Points clés & takeaways :**

- Concevoir une intégration QKD avec TLS/IPsec ou chiffrement applicatif en respectant la rotation
- Optimiser l'exploitation via métriques, alertes et runbooks orientés SLA
- Mettre en place une gouvernance et une résilience adaptées aux contraintes de production

## Organisation

**Formateur**

Les formateurs de Docaposte Institute sont des experts de leur domaine, disposant d'une expérience terrain qu'ils enrichissent continuellement. Leurs connaissances techniques et pédagogiques sont rigoureusement validées en amont par nos référents internes. Riches de leur expérience sur le sujet, ils sauront accompagner vos collaborateurs dans leur montée en compétences.

**Moyens pédagogiques et techniques**

- Alternance d'apports théoriques et de mises en pratique contextualisées.
- Progression pédagogique structurée, de la compréhension à la mise en œuvre opérationnelle.
- Pédagogie immersive favorisant une mise en application immédiate des compétences.
- Formation interactive et participative s'appuyant sur des ateliers pratiques, études de cas et échanges collectifs (+ 60 % du temps de formation.)
- Séquences pédagogiques rythmées et évaluations formatives régulières pour renforcer l'ancrage des apprentissages.
- Supports de cours, ressources documentaires et références mis à disposition par le formateur

**Dispositif de suivi de l'exécution et de l'évaluation des résultats de la formation****En amont de la formation** (*évaluation en ligne dans l'extranet apprenant*)

- Recueil des besoins et des attentes des participants.
- Auto-positionnement permettant d'évaluer le niveau initial des apprenants.

**Tout au long de la formation**

- Évaluations continues réalisées par le formateur travers des questions orales, exercices, QCM, études de cas et mises en situation pratiques.

**À l'issue de la formation** (*évaluations en ligne dans l'extranet apprenant*)

- Auto-positionnement afin de mesurer l'acquisition des compétences visées.
- Validation de l'acquisition des compétences par le formateur
- Questionnaire de satisfaction « à chaud » à l'issue de la formation
- Questionnaire de satisfaction "à froid", 45 jours après la formation afin d'évaluer l'ancrage des acquis et leur mise en application en situation professionnelle.

**Accessibilité**

Nos formations peuvent être adaptées à certaines conditions de handicap. Nous contacter pour toute information et demande spécifique.