



**ROYAUME DU MAROC**  
*Université Mohammed V - Rabat*  
*Faculté de Médecine et de Pharmacie*  
**RABAT**



## *Mémoire de fin d'études*

*Pour L'obtention du Diplôme National de Spécialité*  
*Option « **RADIOTHERAPIE** »*

**MS0552021**

*Intitulé*

**PROCEDURE DE TRAITEMENT DES METASTASES  
CEREBRALES PAR RADIOTHERAPIE EN  
CONDITIONS STEREOTAXIQUES A L'INSTITUT  
NATIONAL D'ONCOLOGIE DE RABAT**

*Présenté par :*  
**Docteur Siham JABA**

*Sous la direction du*  
**Professeur Hanan EL KACEMI**

**JUIN 2021**

# ***Remerciements***

***A Notre Maître et président de mémoire :***  
***Monsieur le Professeur Noureddine BENJAAFAR***  
***Chef de Service de Radiothérapie,***  
***Institut National d'Oncologie de Rabat***

*Vous nous faites un grand honneur en acceptant d'encadré  
avec rigueur ce travail. Vos qualités professionnelles  
nous ont beaucoup marqués et votre enseignement restera  
pour nous un acquis de grande valeur. Trouvez dans ce travail  
l'expression de notre profonde gratitude  
et toute la reconnaissance que nous vous témoignons.*

***A Madame la Professeur Hanan EL KACEMI  
Professeur de Radiothérapie,  
Institut National d'Oncologie de Rabat***

*Nous vous remercions sincèrement d'avoir inspiré et dirigé ce travail. Grâce à votre aide précieuse, on a pu mener à terme cette étude. Nous vous remercions également pour votre disponibilité et votre aide tout au long de notre résidanat. Trouvez dans ce travail l'expression de notre reconnaissance et notre gratitude pour la sympathie et l'amabilité dont vous avez fait preuve.*

***A Monsieur le Professeur Tayeb KEBDANI***  
***Professeur de Radiothérapie,***  
***Institut National d'Oncologie de Rabat***

*Nous avons toujours été marqués  
par vos qualités humaines et vos connaissances.  
Nous vous remercions de nous avoir encadrés  
et nous avoir transmis le savoir.  
Nous vous témoignons notre profonde admiration.*

***A Madame la Professeur Sanae EL MAJJAOUI***  
***Professeur de Radiothérapie,***  
***Institut National d'Oncologie de Rabat***

*Votre gentillesse et votre sympathie nous ont beaucoup marqués, nous vous remercions pour votre encadrement et vos réponses constructives a nos interrogations. Soyez assurée de toute notre gratitude et notre profond respect.*

***A Monsieur le Professeur khalid HASSOUNI***  
***Professeur de Radiothérapie,***  
***Institut National d'Oncologie de Rabat***

*Nous avons été marqués par votre gentillesse et votre soutien. Nous vous témoignons notre profonde admiration et grand respect.*

***A Messieurs les Professeurs  
Hassan SIFAT  
Khalid HADADI  
Mohammed El MARJANY  
Aziz MANSOURI  
Professeurs de Radiothérapie,  
Hôpital Militaire d'Instruction Mohammed V de Rabat***

*Nous souhaitons vous exprimer notre admiration  
pour vos grandes compétences et votre disponibilité.*

*Trouver dans ce travail le témoignage  
de notre reconnaissance et grand estime.*

*Je souhaite également remercier*

*Dr. Amine LACHGAR pour ses conseils méthodologiques,  
ainsi que Abdelati NOUREDDINE pour sa contribution.*

*Je tiens à remercier mes chers collègues et amis :*

*Samia Hajar TOUIMI, Jihane AARAB, Hasna SFAOUA, Yasmina  
MOUKASSE, Patricia AGBANGLANON, Wilfried Bassané Alain  
Mossé, Nda GUY, Gael KIETGA, Compaore BERTRAND  
GHISLAIN, Seka EVRARD NARCISSE, N'chiepo KOUADIO  
DAVY, Oswald Houessou, Mouhcine HOMMADI, pour leur sincère  
amitié et leur partage de connaissance.*

*Enfin, je remercie tous les membres de l'équipe de physique,  
manipulateurs, techniciens et personnel paramédical pour leur  
gentillesse, leur aide au quotidien.*

*Je dédie ce travail*

**A toute ma famille**, mes parents, mon frère Younes

**A mes sœurs** Wiam, Safae et ma belle-sœur Lina

**A tous mes amis.**

*Très bonne lecture !*



# ABRÉVIATION

---

**CBCT** : Cone Beam Computed Tomography

**CI** : Contre-indication

**CT** : Computerized Tomography (tomographie assistée par ordinateur)

**CTV** : Clinical Tumor Volume (volume cible anatomo-clinique)

**EIT** : Radiothérapie de l'encéphale en totalité

**FFF** : Flattening Filter Free

**Gray** : (unité de mesure de radiation)

**GTV** : Gross Tumor Volume (volume tumoral macroscopique)

**HDV** : Histogrammes Dose-Volume

**IGRT** : Image-Guided Radiation Therapy (radiothérapie guidée par image)

**IMC** : Indice de masse corporelle

**IRM** : Imagerie par résonance magnétique

**KPS** : Indice de Karnofsky

**kV** : Kilovoltage

**MC** : Métastases cérébrales

**NCCN** : National Comprehensive Cancer Network

**PDC** : Produit de contraste iodé

**PTV** :Planned Target Volume (volume cible planifié)

**RCP** : Réunion de concertation pluridisciplinaire

**RTS** : Radiothérapie stéréotaxique

**TC** : Tronc cérébral

**TPS** : Treatment Planning System

**VC** : Volume cible

# RÉSUMÉ

---

Les métastases cérébrales (MC) sont les tumeurs intracrâniennes les plus fréquentes chez l'adulte (plus de 50% des tumeurs intracrâniennes). Leur incidence est en augmentation croissante en raison des progrès thérapeutiques, permettant d'améliorer la survie des patients cancéreux, mais également de la disponibilité de l'imagerie par résonance magnétique (IRM). Les cancers broncho-pulmonaires et les cancers du sein sont les tumeurs les plus pourvoyeuses de MC respectivement dans 34% et 30% des cas, viennent ensuite les mélanomes, les tumeurs colorectales et les tumeurs rénales.

La radiothérapie en conditions stéréotaxiques (RTS) est une technique d'irradiation de haute précision (inframillimétrique) avec utilisation de multiples faisceaux permettant de délivrer de fortes doses avec un important gradient de dose, limitant l'irradiation des tissus sains voisins. La RTS peut être délivrée en :

- Une fraction définissant la radiothérapie monofractionnée en conditions stéréotaxiques appelée « radiochirurgie : SRS ».
- Plusieurs fractions : 2 à 5 généralement, définissant la radiothérapie hypofractionnée en conditions stéréotaxiques.

La radiothérapie hypofractionnée sera privilégiée par rapport à la radiochirurgie en cas de MC de grande taille, proximité d'organe à risque, irradiation antérieure et/ou terrain particulier (comorbidité associée, notamment vasculaire).

La décision thérapeutique est soumise à une réflexion pluridisciplinaire, prenant en compte les facteurs pronostiques, incluant le type du cancer primitif, l'âge et l'état général du patient, le statut de la maladie extracérébrale, le tableau clinique et radiologique des MC.

La radiothérapie guidée par l'image (IGRT) utilisant le CBCT est un indispensable avant chaque séance.

Après le traitement, une surveillance rapprochée par IRM est préconisée. Le principal risque est la radionécrose cérébrale (10 à 15 % à 1 an) et l'apparition de nouvelles localisations cérébrales.

# ABSTRACT

---

Brain metastases are the most common intracranial tumors in adults (more than 50% of intracranial tumors). Their incidence is steadily increasing due to therapeutic advances, but also to the availability of magnetic resonance imaging (MRI).

Bronchopulmonary cancers and breast cancers are the most common tumors of cerebral metastases in 34% and 30% of cases, respectively, followed by melanomas, colorectal tumors and kidney tumors.

Stereotaxic radiotherapy is a high precision irradiation technique (inframillimetric) using multiple beams to deliver high doses and limiting irradiation of organ at risk.

Stereotaxic radiotherapy can be issued in :

A fraction defining monofractionated radiotherapy called “radiosurgery : SRS”

Several fractions : 2 to 5 generally, defining hypofractionated radiotherapy

Hypofractionated radiotherapy is preferred over radiosurgery for large brain metastases, proximity to organ at risk, previous irradiation and / or particular terrain (comorbidities, especially vascular).

The therapeutic decision is a multidisciplinary approach, that includes type of primary cancer, age and general condition of patient, status of the extracerebral disease, clinical and radiological features of brain metastases.

Image Guided Radiation Therapy (IGRT) using CBCT is required before each radiotherapy session.

After treatment, close monitoring by MRI is recommended. The main risk is cerebral radionecrosis occurring in 10 to 15%, and the development of new brain metastases.

## مَِّص

بالتقيد (50% أكأا، من) الأورام الدماغية الثانوية B أكأا، الأورام داخل المخ مزمنة شبيوعا عند البالغين  
تعتبر، معدل حدوثها نتيجة التطورات العلاجية، و أباً ضمناً C سلب توفر التصوير بالرنين المغناطيسي S  
% و 34 سرطانات القصبات الرئوية وسرطان الثدي من أبرز أورام المسببة للأورام الدماغية الثانوية بنسبة  
% من الأشعالات علاج التواء، نذها الأورام الميلانينية وأورام القولون وأورام الكلى 30

العلاج الإشعاعي Z Z Z S و تقنية إشعاع عالية الدقة تستخدم حزم متعددة لتوصيل جرعات عالية،  
يمكن تقديم جرعة العلاج ye حصة واحدة أو ye عدة، مما يحد من إصابة الأنسجة السليمة Z Z Z و  
C شل عام 5 r 2 حصص

ضع قرار العلاج r r نوافق آراء التخصصات المعنية، مع مراعاة العوامل الإذرية، بما ye ذلك نوع  
السرطان أو ye وسن والأشعالة العامة للمريض والصورة السريرية والإشعاعية للورم

العلاج الإشعاعي الموجه بالصورة يعتبر، ضرورياً قبل أي حصة

XX خطر الرنين S و النخر، C مع العلاج، بو. S بالمراقبة الدقيقة بواسطة التصوير بالرنين المغناطيسي S و ظهور  
أورام جديدة ye الدماغ (% خلال السنة الاو r C مع العلاج 10%-15) الإشعاعي Y الدماغ Y

## **OBJET DU DOCUMENT**

---

Ce document décrit la procédure à suivre par les médecins radiothérapeutes pour la prise en charge des patients atteints de métastase(s) cérébrale(s) et nécessitant une radiothérapie en conditions stéréotaxiques.

## **DOMAINE D'APPLICATION DE LA PROCÉDURE**

---

La procédure est d'application à tous les membres du personnel médical du service de Radiothérapie Oncologique à l'Institut National d'Oncologie de Rabat.

## **MOTIF DE RÉALISATION DE LA PROCÉDURE**

---

La standardisation de l'irradiation stéréotaxique des MC au sein du service de Radiothérapie Oncologique à l'Institut National d'Oncologie.

## **DOCUMENTS ASSOCIÉS**

---

|   |                  |
|---|------------------|
| Score pronostique RPA   | <b>Annexe 1</b>  |
| Score pronostique DS-GPA  | <b>Annexe 2</b>  |
| Les composants du Fraxion Stereotactic System   | <b>Annexe 3</b>  |
| Les étapes du transfert des images TDM et IRM vers le TPS                                   | <b>Annexe 4</b>  |
| Les étapes d'importation des images TDM et IRM  | <b>Annexe 5</b>  |
| Les étapes du recalage-fusion TDM-IRM   | <b>Annexe 6</b>  |
| Les principaux indicateurs d'évaluation de la qualité du plan de traitement par stéréotaxie | <b>Annexe 7</b>  |
| Contraintes de doses aux OAR  | <b>Annexe 8</b>  |
| Fiche de validation de la dosimétrie pour l'irradiation stéréotaxique cérébrale             | <b>Annexe 9</b>  |
| Critères clinico-radiologiques de RANO MC   | <b>Annexe 10</b> |

## LISTE DES FIGURES

|   |    |
|---|----|
| <b>Fig 1.</b> Équipement nécessaire à la simulation .....   | 6  |
| <b>Fig 2.</b> Le système de contention.....   | 9  |
| <b>Fig 3.</b> Les points de repérage sur le masque thermoplastique.....   | 11 |
| <b>Fig 4.</b> Vérification de l'alignement sur le topogramme .....  | 11 |
| <b>Fig 5.</b> Vérification de la présence des 3 billes radio-opaques sur la même coupe .....                            | 12 |
| <b>Fig 6.</b> Boîte de rangement spécifique au patient .....  | 13 |
| <b>Fig 7.</b> Fusion IRM et scanner de simulation pour la délimitation des volumes cibles et OAR                        | 16 |
| <b>Fig 8.</b> Préparation de la table de traitement.....  | 22 |
| <b>Fig 9.</b> Le cadre HexaPOD.....   | 22 |
| <b>Fig 10.</b> La table de traitement.....  | 23 |
| <b>Fig 11.</b> Mise en place du patient sous l'appareil de traitement.....  | 23 |
| <b>Fig 12.</b> Recalage CBCT et scanner de simulation d'une métastase cérébrale unique d'un<br>carcinome mammaire ..... | 25 |
| <b>Fig 13.</b> Vérification du recalage .....   | 25 |

## **SOMMAIRE**

|   |          |
|---|----------|
| <b>DESCRIPTION DE LA PROCEDURE.....</b>                     | <b>1</b> |
| 1. PREPARATION DU DOSSIER MEDICAL.....                      | 2        |
| 1.1 L'observation médicale.....                             | 2        |
| 1.2 Examens paracliniques.....                              | 3        |
| 1.3 Bilan pré-thérapeutique.....                            | 4        |
| 2. INDICATION DE LA RTS.....                                | 5        |
| 3. SIMULATION.....  | 6        |
| 3.1 Préparation de l'équipement (Annexe 3).....             | 6        |
| 3.2 Préparation du patient.....                             | 7        |
| 3.3 Positionnement du patient et système de contention..... | 7        |
| 3.4 Positionnement du point de référence (REF).....         | 10       |
| 3.5 Acquisition des données anatomiques.....                | 12       |
| 3.6 Fin de l'examen.....                                    | 13       |
| 4. DELINEATION DES VOLUMES CIBLES ET OAR.....               | 14       |
| 4.1 Préparation à la délinéation.....                       | 14       |
| 4.2 Délinéation des VC et OAR.....                          | 14       |
| 5. PRESCRIPTION.....  | 17       |
| 6. PLANIFICATION DOSIMETRIQUE.....                          | 18       |
| 7. VALIDATION DU PLAN DE TRAITEMENT.....                    | 19       |
| 8. CONTROLE DE QUALITE CQ.....                              | 20       |
| 9. DEROULEMENT DU TRAITEMENT.....                           | 21       |
| 9.1 Préparation au traitement.....                          | 21       |
| 9.2 IGRT et traitement.....                                 | 24       |



|  |           |
|--|-----------|
| 10.SURVEILLANCE AU COURS DU TRAITEMENT ..... | 26        |
| 11.CONSULTATION DE FIN DE TRAITEMENT .....   | 26        |
| 12.SUIVI POST-THERAPEUTIQUE.....             | 27        |
| 13.RECIDIVES .....                           | 28        |
| <b>CONCLUSION.....</b>                       | <b>29</b> |
| <b>ANNEXES.....</b>                          | <b>31</b> |
| <b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>                   | <b>42</b> |

***Description  
de la procédure***

## **1. PREPARATION DU DOSSIER MEDICAL :**

### **1.1 L'observation médicale :**

#### **❖ Interrogatoire :**

- Identité, âge
- ATCD personnels :
  - Comorbidités, habitudes toxiques, traitements médicamenteux (notamment la metformine)
  - CI à l'injection de produits de contraste (allergie, insuffisance rénale)
  - CI à l'IRM (défibrillateur, pacemaker, implant métallique), se renseigner sur la compatibilité du dispositif avec l'IRM
  - Type de cancer, traitements reçus, RTH cérébrale antérieure
  - Vérifier la prise de corticothérapie (si nécessaire) et la maintenir jusqu'à la fin de l'irradiation.
- Circonstances de découverte :
  - Trois tableaux cliniques caractéristiques :
    - Crises convulsives partielles ou généralisées
    - Déficit neurologique progressif
    - Tableau d'hypertension intracrânienne
  - Découverte fortuite lors de l'imagerie initiale, bilan d'extension ou de surveillance d'un cancer traité.

#### **❖ Examen clinique :**

- État de conscience : score de Glasgow
- État général : indice de Karnofsky
- Poids, taille, IMC
- Mesure des constantes

- Examen neurologique (retentissement cérébral)
  - Examen des pupilles
  - Marche, équilibre
  - Force musculaire
  - Sensibilité
  - Paires crâniennes
- **Primitif inconnu** : examen clinique orientant vers une localisation primitive.

## **1.2 Examens paracliniques :**

### ❖ **Bilan de la maladie cérébrale :**

- **L'IRM cérébrale** : examen de référence, **obligatoire** avant toute RTS (diagnostic, indication, délimitation des volumes cibles et planification du traitement)
  - Datant de **moins d'un mois**
  - **Séquences : axiale, sagittale et frontale, T1 avec injection et T2 FLAIR**
  - **Description** : topographie, aspect, siège, nombre, taille, volume en cc, œdème, retentissement.
  - Les MC sont classiquement en iso ou hyposignal sur les séquences T1, hypersignal en T2 et FLAIR et prenant le contraste après injection.
  - Après la chirurgie, l'IRM est réalisée à 48h pour rechercher un résidu.
- **Si MC opérée(s)** : compte rendu opératoire précisant le type de geste : exérèse partielle ou complète et l'étude histologique.

### ❖ **Bilan de la maladie extracérébrale :**

- **Compte-rendu anatomopathologique de la tumeur primitive** avec les données d'immunohistochimie et de biologie moléculaire.
- **Bilan d'extension récent : TDM TAP et éventuellement TEP scan.**

### ❖ **Primitif inconnu**

- Bilan pour l'identification de la maladie primaire et le stade **TDM CTAP**
- Biopsie du site le plus accessible
- Si aucune lésion extracrânienne n'est accessible, une biopsie stéréotaxique ou une résection de la métastase cérébrale est justifiée.

❖ **Bilan biologique récent :**

- NFS/Plaquettes, fonction rénale.

### 1.3 **Bilan pré-thérapeutique :**

❖ **Évaluation pronostique :**

- **La classification Recursive Partitioning Analysis (RPA) (Annexe 1) :** développée sur la base de 4 critères : l'âge, le KPS, le contrôle de la tumeur primitive et la présence de métastases extracérébrales.
- **Le score DS-GPA (Diagnosis-Specific Graded Prognostic Assessment) (Annexe 2) :** tient compte en plus des facteurs sus-cités le nombre de MC et le type histologique du cancer primitif.

❖ **Prévoir une IRM en position de traitement**

- Dans un délai d'**une semaine**, si l'IRM diagnostique ne permet pas une fusion optimale pour la délimitation des volumes cibles.
- Épaisseur des coupes de 3mm.

## **2. INDICATION DE LA RTS**

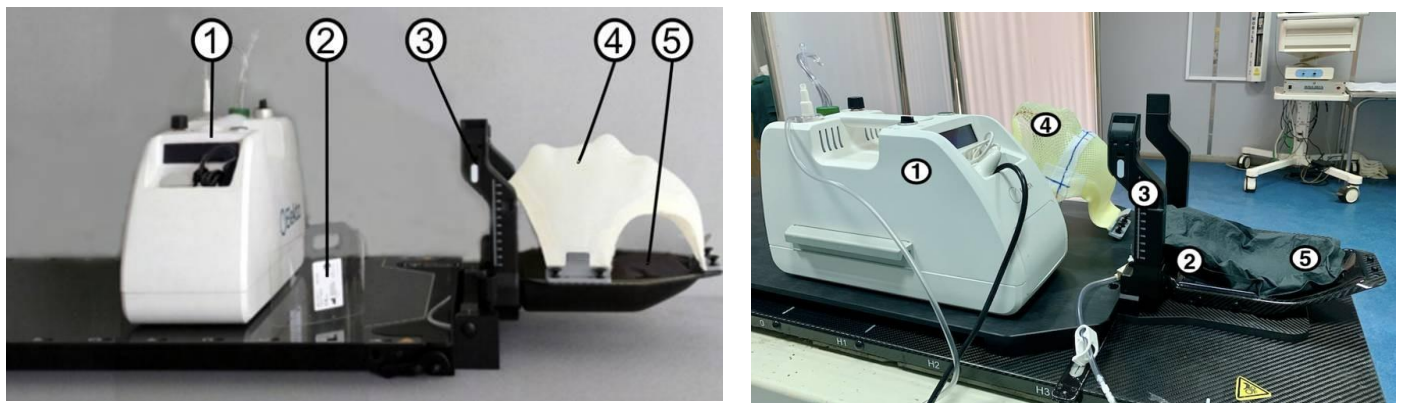
Les indications de la RTS sont discutées dans le cadre d'une réunion de concertation pluridisciplinaire (RCP) en tenant compte des facteurs pronostic :

- **RTS initiale**
  - **Nombre** : 1 à 5 métastases, ou plus avec un volume total cumulé  $\leq 30 \text{ cm}^3$
  - **Taille** :  $\leq 4 \text{ cm}$
  - Peu ou pas de symptômes neurologiques.
  - Espérance de vie  $> 3$  mois (estimation de survie par DS-GPA ou RPA)
  
- **RTS post-opératoires**
  - **Irradiation** de(s) cavité(s) opératoire(s)
  - Délai d'irradiation : 4 à 5 semaines après la chirurgie
  
- **Réirradiation en conditions stéréotaxiques**
  - Après une précédente **RTS** ou une précédente **IET**
  - Pour une **récidive** ou une **apparition** de nouvelle(s) MC : si bon état général et maladie extracérébrale contrôlée.

### 3. SIMULATION :

#### 3.1 Préparation de l'équipement (Annexe 3)

- La pompe à vide
- Le coussin sous vide
- Le module de support de tête
- Le séparateur
- L'adaptateur CT qui est composé d'un support de préparation et de la plaque de compensation de la hauteur (**Fig 1**)
- Le masque thermoplastique renforcé dédié



**Fig 1.** Équipement nécessaire à la simulation

|          |                           |  |
|----------|---------------------------|--|
| <b>1</b> | Pompe à vide              | Fraxion Vacuum Pump                    |
| <b>2</b> | Séparateur                | Fraxion Spacer                         |
| <b>3</b> | Module de support de tête | Fraxion Head Support Module ST         |
| <b>4</b> | Masque thermoplastique    | Fraxion Thermoplastic Mask <i>Head</i> |
| <b>5</b> | Coussin sous vide         | Fraxion Vacuum Cushion Plus            |

### **3.2 Préparation du patient**

- Accueil du patient et enregistrement
- Explication du déroulement de la simulation, et de l'intérêt de ne pas bouger durant l'examen.
- Vérifier qu'il est à jeun depuis au moins 3h
- Vérifier l'absence d'allergie aux PDC et la fonction rénale
- Pose de la voie veineuse périphérique
- Pour les patients diabétiques sous metformine, cette dernière est interrompue le jour de l'examen et pour une durée de 48h après l'injection (risque d'acidose lactique)
- Couper les cheveux si nécessaire

### **3.3 Positionnement du patient et système de contention :**

- Fixer le module de support de tête sur le plan de table (Fig 2)
- Placer le coussin sous vide sur le repose-tête
- Placer le séparateur sous le coussin sous vide



- Aider le patient à se positionner sur le plan de table et le repose-tête :
  - *Le patient en décubitus dorsal en position confortable et relâchée, bras le long du corps et tête en Reid à 0 (déterminé par les lasers frontal et transversal en passant par les tragus et la pointe du nez).*
  - *Utiliser un repose-genou, si cela est nécessaire pour le confort du patient.*
  - *Alignement du patient à l'aide des lasers muraux dans les plans coronal, sagittal et transversal.*
- Evacuation du coussin sous vide sur le contour de la tête du patient
- Formation du masque thermoplastique (Fig 3) :
  - *Placer le masque thermoplastique dans le bain-marie pendant la durée précisée par le constructeur (au moins 4 minutes), ensuite le sécher et vérifier qu'il ne risque pas de brûler le patient.*
  - *Centrer le masque sur le visage et veiller à ce que les yeux soient fermés.*
  - *Les extrémités du masque sont tirées de manière uniforme pour les amener vers les connecteurs appropriés.*
  - *Lisser et mouler le masque au niveau du menton, pont nasal, vertex et appuyer légèrement vers l'intérieur des oreilles pour qu'il prenne bien les contours de la tête.*
  - *Laisser le masque sur le patient pendant au moins 10 minutes pour qu'il se rigidifie complètement.*



**Fig 2.** Le système de contention

**1** Le module de support de tête

**2** Le support de préparation

**3** Le coussin sous vide

### **3.4 Positionnement du point de référence (REF)**

- La position de référence ou «position 0» est définie en s'aidant des lasers dans les 3 plans de l'espace (**Fig 4**) :
  - **Coronal** : à la hauteur des tragus
  - **Sagittal** : ligne médiane
  - **frontal** : arcades sourcilières, hauteur des tragus
- Ainsi, les croix de repérage sont marquées sur le masque à chaque intersection de laser (sur sparadrap) définissant :
  - **Un point antérieur** au croisement des lasers transverse et sagittal
  - **Deux points latéraux** au croisement de lasers transverse et coronal
- Placer trois billes radio-opaques sur les points de repérage définissant les points de référence.
- Vérifier l'alignement du patient sur le topogramme
- S'assurer de l'alignement par une acquisition d'un paquet et vérifier que les 3 points se trouvent sur la même coupe (Fig 5).
- Puis limiter le champ d'acquisition sur le topogramme de face : limite supérieure : fuite dans l'air, limite inférieure : C2-C3.



Fig 3. Les points de repérage sur le masque thermoplastique

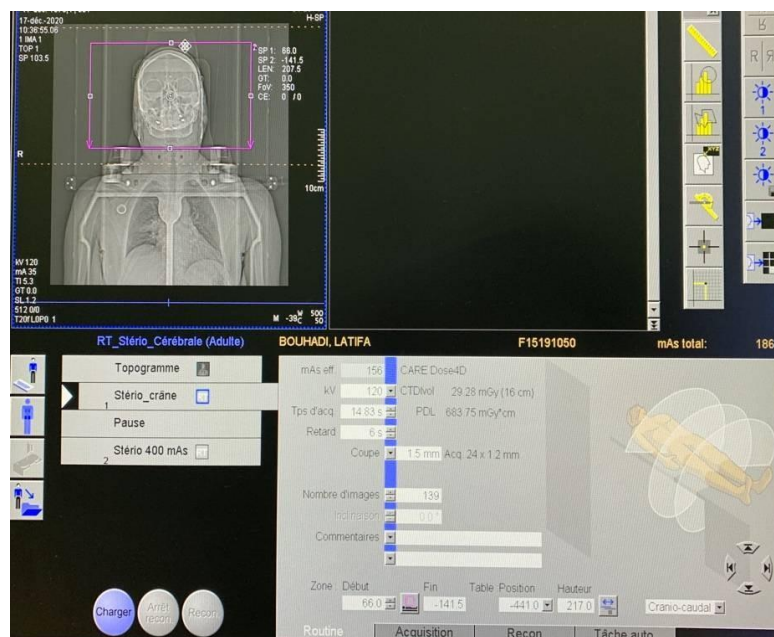
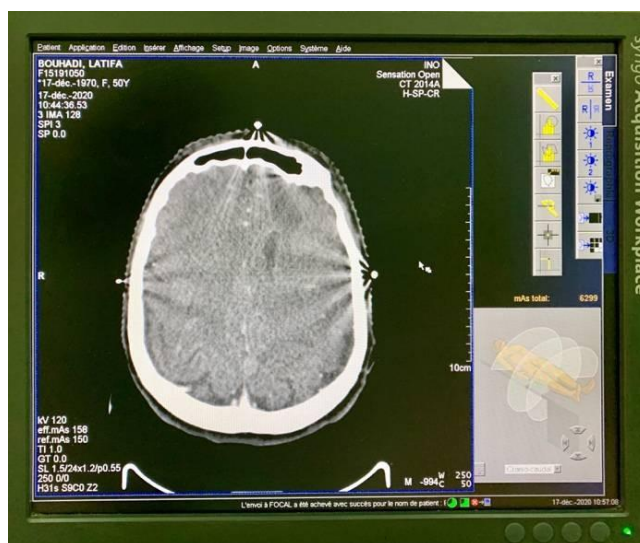


Fig 4. Vérification de l'alignement sur le topogramme

### 3.5 Acquisition des données anatomiques

Une fois le patient est bien positionné et le masque est marqué, le scanner sera réalisé en suivant les étapes suivantes :

- o Choisir la position «**décubitus dorsal tête en premier**».
- o Choisir le protocole «**stéréotaxie cérébrale**»
- o Épaisseur des coupes **1,5 mm** jointives
- o Lancer l'acquisition juste après l'injection du PDC
- o Vérifier toutes les coupes et la présence des 3 billes sur la même coupe (**Fig 6**)
- o Transfert des images vers la console de contourage Focal



**Fig 5.** Vérification de la présence des 3 billes radio-opaques sur la même coupe.

### **3.6 Fin de l'examen**

- Le patient est libéré à l'issue de l'acquisition
- Rangement des composants spécifiques au patient dans une boîte en notant le nom et l'ID du patient sur le masque et sur la boîte (**Fig 7**).
- Les détails du positionnement du patient et des contentions utilisées sont retranscrites dans la fiche de traitement du patient.
- Demander au patient de bien s'hydrater après l'examen (au moins 1,5 litre d'eau par jour).



**Fig 6.** Boîte de rangement spécifique au patient.

## 4. DELINEATION DES VOLUMES CIBLES ET OAR

### 4.1 Préparation à la délinéation :

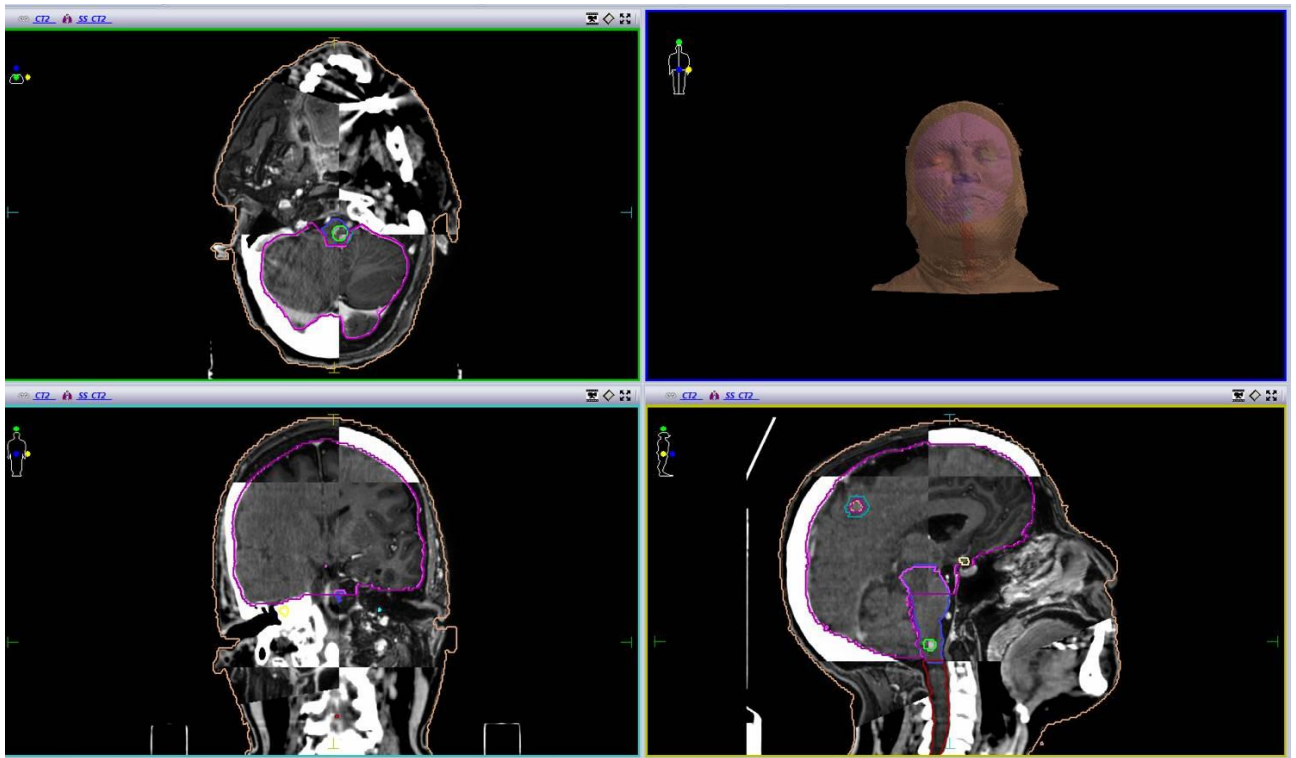
- **Transfert des images TDM et IRM vers le TPS (Annexe 4)**
- **Importation des images TDM et IRM (Annexe 5)**
- **Recalage-fusion TDM-IRM (Annexe 6)**

### 4.2 Délinéation des VC et OAR

- **Les volumes cibles**
  - **GTV** est délinéé sur l'IRM et correspond à la prise de contraste en tenant compte de la prise de contraste au scanner de simulation, l'œdème n'est pas inclus.
  - CTV n'est pas défini.
  - **PTV** = GTV + 2 mm
- **En cas d'irradiation postopératoire**
  - **CTV**
    - Délinéé sur l'IRM, doit inclure l'ensemble de la cavité opératoire en excluant l'œdème.
    - le CTV doit inclure l'ensemble du trajet opératoire visualisé sur le scanner et l'IRM.
    - le CTV doit inclure une marge le long du volet osseux :
      - 1-5 mm, si avant la chirurgie, la tumeur n'était pas en contact de la dure-mère

- 5-10 mm, si la tumeur était initialement au contact de la dure-mère
- Si avant la chirurgie, la tumeur était en contact avec un sinus veineux, le CTV doit inclure une marge de 1 à 5 mm le long du sinus
- **PTV** = CTV + 2 mm
- **Les organes à risque**
  - Bandelettes optiques droite et gauche
  - Encéphale (inclus les hémisphères cérébraux, la fosse postérieure et le tronc cérébral)
  - Chambres antérieures de l'œil droite et gauche
  - Chambres postérieures de l'œil droite et gauche
  - Chiasma optique
  - Cochlées droite et gauche
  - Conduits auditifs internes droit et gauche
  - Cristallins droit et gauche
  - Hipocampes droit et gauche
  - Nerfs optiques droit et gauche
  - Parotides droite et gauche
  - Rétines droite et gauche
  - Tronc cérébral





**Fig 7.** Fusion IRM et scanner de simulation pour la délinéation des volumes cibles et OAR

## **5. PRESCRIPTION :**

### **❖ Doses et fractionnement**

- 23,1 (3 x 7,7Gy)
- 24 Gy (4 x 6Gy)
- 25 Gy (5 x 5Gy)
- 27 Gy (3 x 9Gy)
- 30 Gy (3 x 10Gy)
- 33 (3 x 11Gy)
- 34 Gy (4 x 8,5Gy)
- 35 Gy (5 x 7Gy)
- 36 Gy (6 x 6Gy)

Les schémas de fractionnement doivent être adaptés à la localisation et à la taille de la tumeur. Les doses les plus élevées par fraction sont utilisées pour les tumeurs périphériques, et des doses plus faibles pour les tumeurs volumineuses ou situées à proximité des OAR.

### **❖ RTS post-opératoire:**

- 27 Gy 3 fractions
- 30 Gy en 5 fractions
- 33 en 3 fractions

## **6. PLANIFICATION DOSIMETRIQUE**

- La planification commence par la vérification de tous les volumes d'intérêt (VC et OAR) par le physicien médical.
- Le choix de la balistique d'irradiation se fait sur le système de planification de traitement TPS (Treatment Planning System) en utilisant des photons X d'énergie 6 FFF (Flattening Filter Free)
- Le nombre d'arcs utilisés et leurs configurations (arc complet, hémi arc, rotation de table) dépendra de la localisation de la tumeur et de sa proximité aux OAR.
- Prescription sur l'isodose 100%, dose totale = dose prescrite au PTV.

## 7. VALIDATION DU PLAN DE TRAITEMENT

### ❖ Analyse visuelle des isodoses

- Afficher une plage d'isodose et examiner coupe par coupe dans les 3 plans de l'espace la distribution volumique de la dose.
- Vérifier l'absence de sous dosage au sein des volumes cibles.

### ❖ Analyse des histogrammes dose–volume

- **Doses aux PTV :**

Les critères de l'ICRU 91 doivent être respectés pour la couverture des volumes cibles, à savoir :

- $D2\% < 125\%$  de la dose prescrite
- $D98\% > 90\%$  de la dose prescrite
- $D95\% > 95\%$  de la dose prescrite
- $D50\% = 100\%$  de la dose prescrite

- **Doses aux OAR (Annexe 8)**

### ❖ Analyse des indicateurs de qualité (Annexe 7)

- **L'indice de conformité de Paddick** : apprécie la conformité de couverture du volume cible prévisionnel, idéalement égal à 100 %.
- **L'indice de gradient de Paddick** : apprécie l'intensité de la décroissance de dose pour passer de l'isodose à 100% à l'isodose à 50%.
- **L'indice d'homogénéité** : c'est le rapport du maximum de dose sur la dose prescrite, idéalement égal à 1.

Après validation de la dosimétrie par le médecin et le physicien médical, les paramètres dosimétriques sont notés sur la fiche de validation du plan de traitement (**Annexe 9**), à laquelle on joint une copie imprimée de l'HDV (graphique + statistique), l'ensemble est agrafés dans la fiche de traitement du patient.

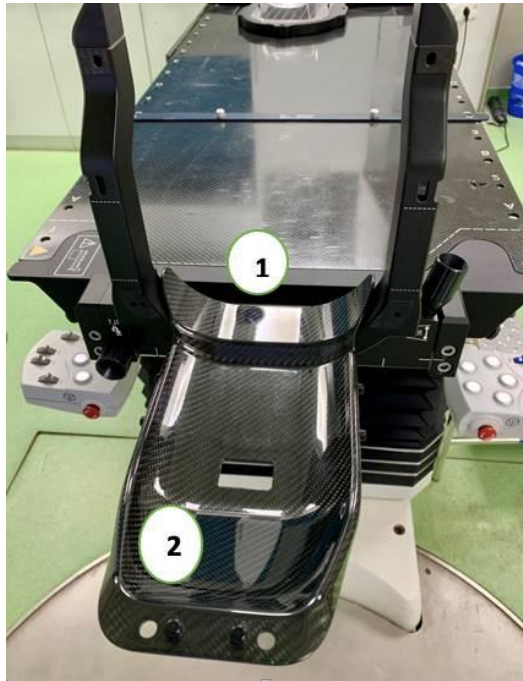
## **8. CONTROLE DE QUALITE CQ :**

- Le contrôle de qualité (CQ) est composé de 2 parties : CQ patient (pour vérifier la dose délivrée au patient) et CQ machine (pour vérifier la stabilité de la machine).
- Après la validation du CQ, le physicien exporte les images scanographiques de référence, les structures d'intérêt (volumes cibles et OAR) et l'isocentre des faisceaux vers l'appareil de traitement.
- Les structures à envoyer sont : GTV, PTV, tronc cérébral, moelle épinière, voies optiques et les autres OAR situés à proximité du volume cible.

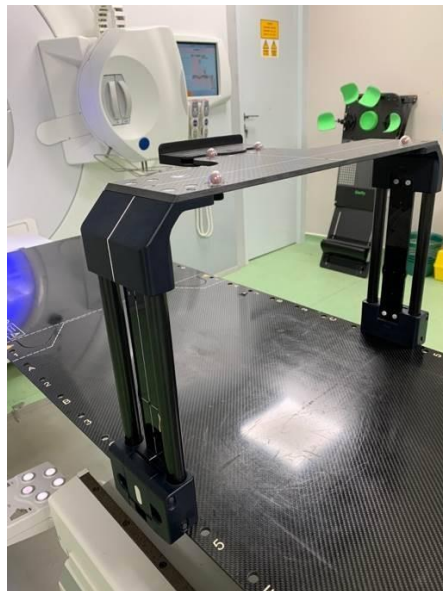
## **9. DEROULEMENT DU TRAITEMENT**

### **9.1 Préparation au traitement**

- Accueil du patient et vérification de son identité
- Explication du déroulement de la séance
- Conduire le patient en cabine pour se préparer
- Préparation de l'équipement :
  - Fixation de l'**adaptateur de plan de table** et du **module de support de tête (Fig.9)**
  - Préparation du **système HexaPOD d'Elekta (Fig 10, 11)** : c'est un système de positionnement utilisé dans la salle de traitement, permettant de corriger d'éventuel décalage sous-millimétrique. Il effectue des déplacements de la table dans six degrés de libertés par l'intermédiaire de deux caméras infrarouges et du logiciel « Iguide » d'Elekta. Il est composé d'une **table**, d'un **cadre** avec marqueurs infrarouges et d'une **caméra** placée au plafond.
- Le positionnement se fait à l'aide des lasers muraux, les moyens de contention ainsi qu'aux marques présentes sur le masque (point de référence du scanner)
- L'alignement se fait dans l'axe de la table dans une position symétrique (pas de rotation des épaules ou du bassin).
- Ensuite, déplacement de la table vers l'isocentre de traitement selon les données de la dosimétrie (**Fig 12**).



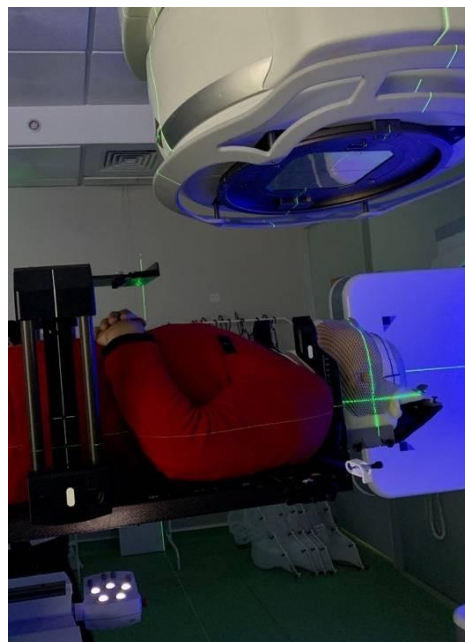
**Fig 8.** Préparation de la table de traitement  
1 L'adaptateur de plan de table  
2 Le module de support de tête



**Fig 9.** Le cadre HexaPOD



**Fig 10.** *La table de traitement*



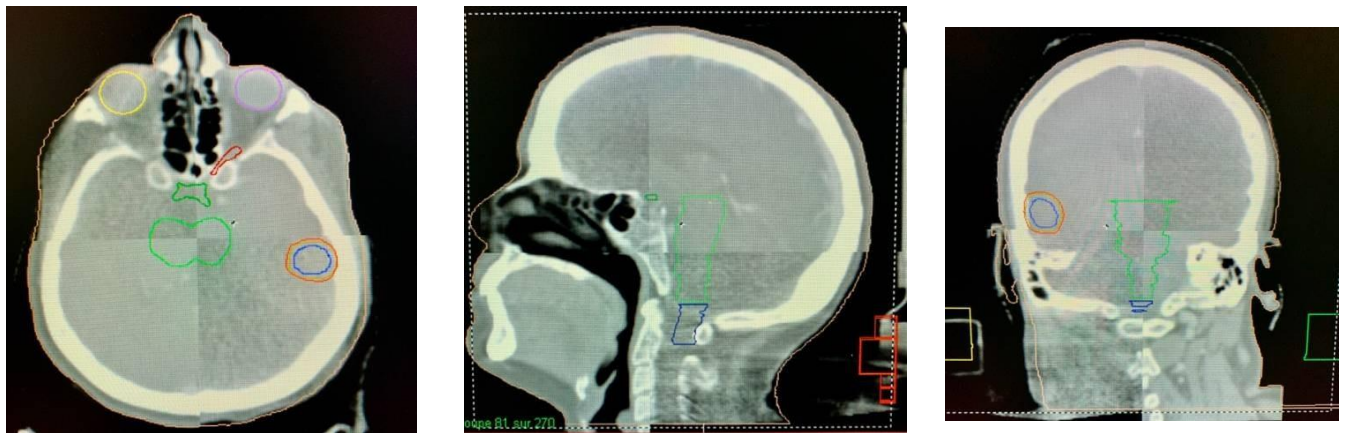
**Fig 11.** *Mise en place du patient sous l'appareil de traitement*



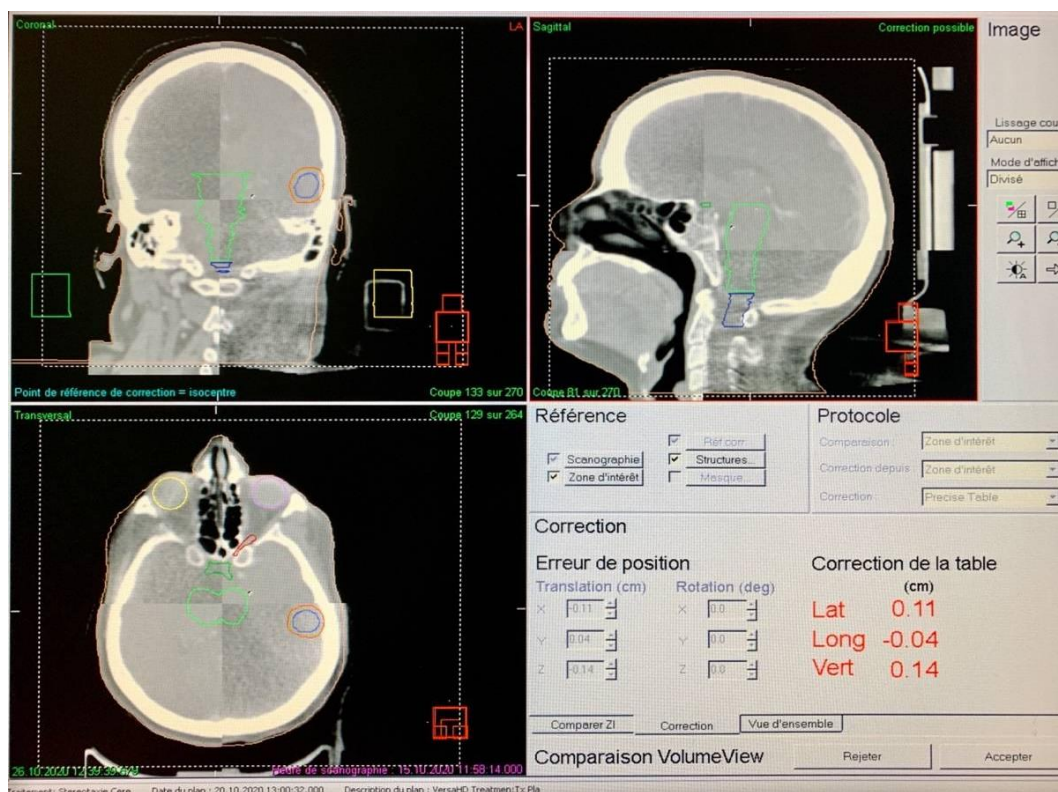
## **9.2 IGRT et traitement**

L'imagerie kV-CBCT est utilisée pour tous les contrôles de qualité de positionnement (mise en place et avant chaque séance), les étapes à suivre :

- Après avoir installé correctement le patient on procède à l'acquisition d'images CBCT.
- Ces images sont comparées avec l'imagerie de référence (scanner de simulation) par le biais du recalage ou matching automatique par le logiciel, et ensuite par vérification manuelle par le médecin, en déplaçant la souris dans les axes cranio-caudal, antéro-post et latéro-médial, dans les 3 plans de l'espace afin vérifier la superposition du CBCT au CT de référence (**Fig 13, 14**).
- Les déplacements validés par l'équipe médicale sont transmis automatiquement à la table de l'accélérateur.
- Les mouvements de la table intéressent les 3 axes de translation et les 3 axes de rotation, et ceci grâce à la table hexaPOD (six degrés de liberté).
- Une fois les mouvements de la table effectués, il faut vérifier la nouvelle position par un autre CBCT puis délivrer ensuite la fraction correspondante.
- Le patient est surveillé durant la séance par la caméra vidéo et le microphone.
- A la fin de la séance, les nouveaux repères de positionnement sont notés sur le masque.
- Le kV-CBCT est réalisé avant chaque séance.



**Fig 12.** Recalage CBCT et scanner de simulation d'une métastase cérébrale unique d'un carcinome mammaire.  
a : Reconstruction transversale ; b : Reconstruction sagittale ; c : Reconstruction frontale.



**Fig 13.** Vérification du recalage.

## **10. SURVEILLANCE AU COURS DU TRAITEMENT :**

En cours de traitement, le patient sera vu avant chaque séance dans le but de :

- Contrôler la bonne compliance au traitement.
- Évaluer l'état général du patient.
- Détecter et prendre en charge d'éventuelles toxicités aiguës : fatigue, céphalées, nausées (corticothérapie)
- Surveiller le bon déroulement du traitement par la vérification des imageries de contrôle CBCT.

## **11. CONSULTATION DE FIN DE TRAITEMENT :**

A la fin du traitement, le médecin doit s'assurer que :

- Le patient a reçu toute la dose prévue
- Vérifier que les jours de traitement ont été répertoriés sur MOSAIQ
- Imprimer le compte rendu d'irradiation en précisant :
  - La dose totale délivrée
  - La dose par fraction et le nombre de fractions
  - Le nombre et l'énergie des faisceaux
  - L'étalement
  - La tolérance
  - Les toxicités aiguës
  - L'utilisation ou non d'une corticothérapie ainsi que la dose

- Orienter le patient vers la consultation post-thérapeutique avec l'IRM d'évaluation dans 3 mois.
- Établir une fiche de liaison à tous les intervenants de la prise en charge (oncologue médical, neurochirurgien)
- Archivage du dossier.

## **12. SUIVI POST-THERAPEUTIQUE**

### **Objectifs :**

- Rechercher les complications tardives de la radiothérapie essentiellement la radionécrose
- Détecter les récives

### **Rythme et moyens :**

- Examen clinique (neurologique et général) et IRM tous les 3 mois pendant au moins 1 an après le traitement.
- les critères de réponse aux traitements doivent être appréciés selon les critères clinico-radiologiques de RANO BM : réponse complète, partielle, stabilité ou progression (**Annexe 10**).

### **Complications tardives**

- La radionécrose :
  - o Principale complication, 15 à 20 % à 1 an. Le risque augmente en cas de thérapie systémique concomitante.

- C'est une atteinte vasculaire cérébrale responsable d'une réaction inflammatoire importante avec une tendance à l'extension spontanée.
  - Elle apparaît généralement entre **6 à 12 mois** après l'irradiation.
  - Elle est dans la majorité des cas asymptomatique.
  - La différenciation entre reprise évolutive et radionécrose est difficile, on note à l'IRM **une prise de contraste en couronne en séquence T1 GADO et un œdème important en séquence FLAIR** (non spécifique)
  - D'autres moyens d'imagerie devraient être envisagés : IRM spectroscopique, IRM de diffusion, de perfusion, PET scan à la méthionine ou 18 FDG.
  - Il n'y a pas de traitement définitif de la radionécrose, les **corticoïdes** et le **bevacizumab** sont les traitements de référence, la chirurgie est une option.
- Autres complications : troubles cognitif, trouble de mémoire, confusion, épilepsie.

### **13. RECIDIVES**

La décision thérapeutique de la récurrence est prise dans le cadre d'une RCP, les options thérapeutiques pouvant être envisagées sont :

- La réirradiation soit en conditions stéréotaxiques ou de l'encéphale en totalité, la RTS répétées est préférée que l'IET avec évaluation par IRM tous les 3 mois.
- La résection chirurgicale.
- La chimiothérapie systémique en tenant compte des traitements déjà reçus.
- Les soins palliatifs.

# ***Conclusion***

L'irradiation en conditions stéréotaxiques est l'un des piliers du traitement local des patients oligométastatiques. L'indication doit être adaptée au contexte clinique et selon le type du cancer primitif. L'IRM qui est indispensable pour le diagnostic, la préparation de la radiothérapie et le suivi post-thérapeutique. Au cours du traitement, le CBCT est réalisé avant chaque séance pour la vérification du positionnement avant le traitement. La prise en charge nécessite une collaboration multidisciplinaire et consensuelle pour guider au mieux la stratégie thérapeutique.

# ***Annexes***



**ANNEXE 1 :**  
**LE SCORE PRONOSTIQUE RPA**

| <b>Classe</b> | <b>Facteur pronostic</b>  | <b>Médiane de survie (mois)</b> |
|---------------|---|---------------------------------|
| <b>I</b>      | KPS $\geq$ 70%<br>Age < 65 ans<br>Maladie primaire contrôlée<br>Absence de métastases extra-cérébrale | 7.1                             |
| <b>III</b>    | KPS < 70  | 2.3                             |
| <b>II</b>     | Tout le reste   | 4.3                             |





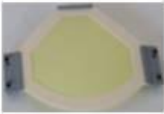
*Gaspar L, et al. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1997; 37:745.*

## ANNEXE 2 : LE SCORE PRONOSTIQUE DS -GPA

| <b>Cancers bronchiques à petites cellules et non à petites cellules</b> |   |            |            |              |            |              |
|---|---|------------|------------|--------------|------------|--------------|
| <i>Facteurs pronostiques</i>  | <i>Critères GPA</i>   |            |            | <i>Score</i> |            |              |
|   | <i>0</i>  | <i>0.5</i> | <i>1.0</i> |              |            |              |
| Age (années)  | > 60  | 50-60      | < 50       |              | ___        |              |
| KPS   | < 70  | 70-80      | 90-100     |              | ___        |              |
| Métastase(s) extracranienne(s)  | Oui   | -          | Non        |              | ___        |              |
| Nombre de MC  | > 3   | 2-3        | 1          |              | ___        |              |
| Total   |   |            |            |              | ___        |              |
| Médian de survie (mois)   | GPA : 0-1.0 = 3.0 ; 1.5-2.0 = 5.5 ; 2.5-3.0 = 9.4 ; 3.5-4.0 = 14.8  |            |            |              |            |              |
| <b>Mélanome</b>   |   |            |            |              |            |              |
| <i>Facteurs pronostiques</i>  | <i>Critères GPA</i>   |            |            | <i>Score</i> |            |              |
|   | <i>0</i>  | <i>1.0</i> | <i>2.0</i> |              |            |              |
| KPS   | < 70  | 70-80      | 90-100     |              | ___        |              |
| Nombre de MC  | > 3   | 2-3        | 1          |              | ___        |              |
| Total   |   |            |            |              | ___        |              |
| Médian de survie (mois)   | GPA : 0-1.0 = 3.4 ; 1.5-2.0 = 4.7 ; 2.5-3.0 = 8.8 ; 3.5-4.0 = 13.2  |            |            |              |            |              |
| <b>Cancer du sein</b>   |   |            |            |              |            |              |
| <i>Facteurs pronostiques</i>  | <i>Critères GPA</i>   |            |            |              |            | <i>Score</i> |
|   | <i>0</i>  | <i>0.5</i> | <i>1.0</i> | <i>1.5</i>   | <i>2.0</i> |              |
| KPS   | ≤ 50  | 60         | 70-80      | 90-100       | -          | ___          |
| Sous-type   | Basal   | -          | Luminal A  | HER2         | Luminal B  | ___          |
| Age (années)  | ≥ 60  | ≤ 60       | -          | -            | -          | ___          |
| Total   |   |            |            |              |            | ___          |
| Médian de survie (mois)   | GPA : 0-1.0 = 3.4 ; 1.5-2.0 = 7.7 ; 2.5-3.0 = 15.1 ; 3.5-4.0 = 25.3 |            |            |              |            |              |
| <b>Cancer du rein</b>   |   |            |            |              |            |              |
| <i>Facteurs pronostiques</i>  | <i>Critères GPA</i>   |            |            | <i>Score</i> |            |              |
|   | <i>0</i>  | <i>1.0</i> | <i>2.0</i> |              |            |              |
| KPS   | < 70  | 70-80      | 90-100     |              | ___        |              |
| Nombre de MC  | > 3   | 2-3        | 1          |              | ___        |              |
| Total   |   |            |            |              | ___        |              |
| Médian de survie (mois)   | GPA : 0-1.0 = 3.3 ; 1.5-2.0 = 7.3 ; 2.5-3.0 = 11.3 ; 3.5-4.0 = 14.8 |            |            |              |            |              |
| <b>Cancers gastro-intestinaux</b>                                       |   |            |            |              |            |              |
| <i>Facteurs pronostiques</i>  | <i>Critères GPA</i>   |            |            |              |            | <i>Score</i> |
|   | <i>0</i>  | <i>1</i>   | <i>2</i>   | <i>3</i>     | <i>4</i>   |              |
| KPS   | < 70  | 70         | 80         | 90           | 100        | ___          |
| Médian de survie (mois)   | GPA : 0-1.0 = 3.1 ; 2.0 = 4.4 ; 3.0 = 6.9 ; 4.0 = 13.5              |            |            |              |            |              |

### ANNEXE 3 :

## LES PRINCIPAUX COMPOSANTS DU FRAXION STEREOTACTIC SYSTEM

| Illustration  | Description  | Abréviations utilisées dans ce document | Spécifique au patient ?                             |
|---|--|---|---|
|    | Fraxion Vacuum Pump<br>Il crée le vide dans le coussin sous vide et un vide entre l'embout buccal et le maxillaire du patient.<br>Il fournit également une alerte que le patient peut activer pour informer le personnel chargé du traitement. | Pompe à vide                            | Non   |
|   | Fraxion Vacuum Cushion Plus<br>Il prend la forme du contour de la tête du patient.   | Coussin sous vide                       | Oui<br>Réutilisable après l'exécution du traitement |
|  | Fraxion Head Support Module ST<br>Combiné à un adaptateur de plan de table, il assure l'interface entre les composants d'immobilisation du patient et le plan de table.<br>Il se compose d'un cadre en U et d'un repose-tête.                  | Module de support de tête               | Parent  |
|  | Fraxion Spacer<br>Il est placé entre le module de support de tête et le coussin sous vide afin de fournir davantage d'espace pouvant être nécessaire lors de l'utilisation d'un masque si le visage du patient enfle durant le traitement.     | Séparateur                              | Non   |
|  | Fraxion Thermoplastic Mask Head<br>Il fournit un grand nombre de points d'immobilisation sur la tête du patient.   | Masque thermoplastique                  | Oui   |

## **ANNEXE 4 :**

### **LES ÉTAPE DE TRANSFERT DES IMAGES TDM ET IRM VERS LE TPS**

Les images IRM disponibles sur un CD/DVD, peuvent être envoyées directement du service de radiologie vers le logiciel Monaco, ou bien transférées à partir de la console du scanner de simulation vers Focal en suivant les étapes ci-dessous :

- Cliquer sur «**Patient**» puis «**Sélecteur patient**».
- Double cliquer sur «**DVD-WRITER**» puis sélectionner les séquences IRM désirées.
- Cliquer sur «**Transférer**», «**Importer**» puis attendre le chargement complet des images.
- Une petite icône sous forme de disque s'affiche en bas et à droite de la fenêtre, qui va disparaître une fois le chargement terminé sinon on peut vérifier, en cliquant en haut sur «**Transférer**» puis choisir «**Etat des travaux locaux**», si chargement complet des images, dans la colonne «**Reste**» s'affiche le 0
- Aller à «**Base de données**», sélectionner le patient puis «**Transférer**» puis «**Envoyer à**» Focal.
- Notez le numéro de l'IRM du patient pour le retrouver facilement sur Focal.

## **ANNEXE 5 : LES ÉTAPES D'IMPORTATION DES IMAGES TDM ET IRM**

Les images du scanner dosimétrique et de l'IRM (diagnostic et/ou en position de traitement) sont importées vers Monaco en suivant les étapes ci-dessous :

- Ouvrir une session **Monaco**, User Name : «test», Password : «cms».
- Cliquer sur «**Open patient**», une fenêtre s'ouvre : cliquer en bas «**Import New data**».
- Sélectionner le patient par son ID dans «**DICOM patient**».
- Cliquer sur **CT1** dans la case à droite apparait le nom, ID du patient, le nombre de coupes, la date du scanner ou de l'IRM.
- Cliquer sur «**Local installation**» et choisir «**Installation**».
- Cliquer sur «**Local clinic**» et choisir «**Clinic**».
- Vérifier «**ID patient**» et «**Patient Name**».
- Ajouter «**STEREO**» avant le nom du patient (ex : STEREO, Mohamed..)
- Cliquer sur «**Add**» et attendre le chargement de toutes les séquences, une fois le chargement est terminé, **CT1** apparait dans la case en bas.
- Dans «**CT to ED Assignment**» : choisir «**DICOM3, SIEMENS 120KV**».
- Cocher «**Delete after transfer**» puis cliquer sur **Import**.

## **ANNEXE 6 : LES ÉTAPES DU RECALAGE -FUSION TDM -IRM**

- Ouvrir le patient dans Monaco, dans la colonne à gauche s'affichent tous les examens d'imagerie importées.
- Double cliquer sur le **CT** pour l'ouvrir.
- Clic droit sur **IRM** et choisir «**Load/Set as secondary**».
- Cliquer sur «**Image fusion**» pour activer la barre d'outils en haut puis sur «**Start Automatic Fusion**».
- Une fois le recalage automatique est terminé, il faut le vérifier en cliquant sur «**Horizontal strips**» ou «**Vertical Strips**» ou «**Checker board**», puis «**Pan**» pour matcher les 2 imageries.
- Si le recalage automatique n'est pas parfait, il faut l'ajuster manuellement dans les 3 plan de l'espace.
- La fusion doit être parfaite.
- Valider en cliquant sur «**Save**».

**NB :** *Pour le contrôle de qualité du recalage : délinéer le TC, les cochlées et les conduits auditifs internes sur le scanner, puis vérifier leurs projections sur l'IRM. Une vérification de la projection de la faux du cerveau et des ventricules peut constituer des critères supplémentaires de vérification.*

## ANNEXE 7 :

### LES PRINCIPAUX INDICATEURS D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DU PLAN DE TRAITEMENT PAR STÉRÉOTAXIE

**Table 44.3** Important radiosurgery metrics

|  |   |
|--|---|
| $\text{RTOG CI} = \frac{\text{PIV}}{\text{TV}}$                                    | TV: Target volume   |
| $\text{Paddick CI} = \frac{\text{TV}^2_{\text{PIV}}}{\text{TV} \times \text{PIV}}$ | CI: Conformity/conformality index                                 |
| $\text{Paddick GI} = \frac{\text{PIV}_{50\%}}{\text{PIV}}$                         | PIV: Prescription isodose volume                                  |
| $50\% \text{ Falloff Ratio} = \frac{\text{PIV}_{50\%}}{\text{TV}}$                 | GI: Gradient index  |
| $V_{12\text{Gy}} (\text{cc}) = \text{tissue volume receiving } 12\text{Gy}$        | PIV <sub>50%</sub> : Volume receiving 50% of prescription isodose |
| $\text{HI} = \frac{D_{\text{max}}}{D_{\text{Rx}}}$                                 | TV <sub>PIV</sub> : Target volume receiving prescription isodose  |
|  | HI: Homogeneity index   |

## ANNEXE 8 : LES CONTRAINTES DE DOSE AUX OAR

| Organes à risque            | Risque potentiel de complication  | Contraintes de planification  |  |   | Autres contraintes complémentaires pouvant être utilisées   |
|-----------------------------|-----------------------------------|---|--|---|---|
|                             |                                   | 1 fraction  | 3 fractions  | 5 fractions   |   |
| Cerveau                     | Radionécrose                      | V10Gy < 10,5 cm <sup>3</sup><br>V12Gy < 5-10 %<br>V12Gy < 7,9-8,5cm <sup>3</sup><br><u>RTS post-op:</u><br>V24 < 17 cm <sup>3</sup> | V21 Gy < 20,9 cm <sup>3</sup><br>V12 Gy < 5-10 %<br>V23,1 Gy < 7 cm <sup>3</sup> | D3-7 cm <sup>3</sup> < 28,8 Gy                        | 1 fraction : V12Gy < 5-10 cm <sup>3</sup>   |
| Chiasma/<br>tractus optique | Névrite<br>sévère/cécité          | Dmax < 10 Gy<br>D0,2mL < 8Gy  | Dmax < 17,4 Gy<br>D0,2 mL < 15,3 Gy  | Dmax < 25 Gy<br>D0,2 mL < 23 Gy                       | 1 séance : Dmax < 8 Gy<br>3 fractions: Dmax < 10,5 Gy<br>5 fractions : Dmax < 15 Gy   |
| Cochlée                     | Surdité                           | Dmax < 9 Gy   | Dmax < 17,1 Gy   | Dmax < 25Gy   |   |
| Cristallin                  |                                   | Dmax < 10 Gy  |  |   |   |
| Moelle épinière             | Myélite                           | Dmax < 14Gy<br>D0,35 mL < 10 Gy<br>D1,2 mL < 7 Gy   | Dmax < 21,9 Gy<br>D0,35 mL < 18 Gy<br>D1,2 mL < 12,3 Gy                          | Dmax < 30 Gy<br>D0,35 mL < 23 Gy<br>D1,2 mL < 14,5 Gy | Moelle délimitée 6 mm de part et d'autre du volume cible prévisionnel<br>1 séance: V10Gy < 10%<br>3 fractions : V18 Gy < 10%<br>5 fractions : V10 Gy < 10%<br>4 fractions : Dmax < 26Gy |
| Nerf optique                | Neuropathie                       | Dmax < 8 Gy   |  |   |   |
| Tronc cérébral              | Neuropathie des<br>nerfs crâniens | Dmax < 15 Gy<br>D0,5mL < 10 Gy  | Dmax < 23,1 Gy<br>D0,5mL < 18 Gy   | Dmax < 31 Gy<br>D0,5mL < 23 Gy                        | NTCP : 0,2%<br>Dmax < 12,5 Gy (15-20Gy)<br>NTCP : 1 %<br>D33 % < 12,5 Gy  |
| Hippocampes                 |                                   | Aucune donnée   |  |   |   |
| Hypophyse                   |                                   | Aucune donnée   |  |   |   |
| Lobes temporaux             |                                   | Aucune donnée   |  |   |   |
| Oreilles internes           |                                   | Aucune donnée   |  |   |   |
| Parotides                   |                                   | Aucune donnée   |  |   |   |

Dx : dose dans le volume x, Vx : volume recevant la dose x, NTCP : normal tissue complication probability



## ANNEXE 9 :

### FICHE DE VALIDATION DE LA DOSIMÉTRIE POUR L'IRRADIATION STÉRÉOTAXIQUE CÉRÉBRALE

Nom et prénom : .....

ID : .....

- **PTV** :

|                       |              |
|-----------------------|--------------|
| <b>D<sub>2</sub></b>  | .....(107%)  |
| <b>D<sub>98</sub></b> | ..... (90%)  |
| <b>D<sub>95</sub></b> | ..... (95%)  |
| <b>D<sub>50</sub></b> | ..... (100%) |

- **OAR** :

| Organes  | Contraintes  |   |   |
|--|--|---|---|
|  | 1 fraction   | 2 fractions   | 3 fractions   |
| <i>Encéphale</i>                                     | - V10Gy .... cm <sup>3</sup><br>- V12Gy .... %<br>- V12Gy .... cm <sup>3</sup> | - V21 Gy .... cm <sup>3</sup><br>- V12 Gy .... %<br>- V23,1 Gy .... cm <sup>3</sup> | - D3-7 cm <sup>3</sup> .... Gy                            |
| <i>Tronc cérébral</i>                                | - Dmax .... Gy<br>- D0,5mL .... Gy   | - Dmax .... Gy<br>- D0,5mL .... Gy  | - Dmax .... Gy<br>- D0,5mL .... Gy                        |
| <i>Moelle épinière</i>                               | - Dmax .... Gy<br>- D0,35 mL .... Gy<br>- D1,2 mL .... Gy                      | - Dmax .... Gy<br>- D0,35 mL .... Gy<br>- D1,2 mL .... Gy                           | - Dmax .... Gy<br>- D0,35 mL .... Gy<br>- D1,2 mL .... Gy |
| <i>Chiasma optique</i>                               | - Dmax .... Gy<br>- D0,2mL .... Gy   | - Dmax .... Gy<br>- D0,2 mL .... Gy   | - Dmax .... Gy<br>- D0,2 mL .... Gy                       |
| <i>Nerf optique</i><br><i>Droit</i><br><i>Gauche</i> | - Dmax .... Gy<br>- Dmax .... Gy   | - Dmax .... Gy<br>- Dmax .... Gy  | - Dmax .... Gy<br>- Dmax .... Gy                          |
| <i>Cristallin</i><br><i>Droit</i><br><i>Gauche</i>   | - Dmax .... Gy<br>- Dmax .... Gy   | - Dmax .... Gy<br>- Dmax .... Gy  | - Dmax .... Gy<br>- Dmax .... Gy                          |
| <i>Cochlée</i><br><i>Droite</i><br><i>Gauche</i>     | - Dmax .... Gy<br>- Dmax .... Gy   | - Dmax .... Gy<br>- Dmax .... Gy  | - Dmax .... Gy<br>- Dmax .... Gy                          |

## ANNEXE 10 : LES CRITÈRES CLINICO -RADIOLOGIQUE DE RANO MC

| REPONSE                | CRITERES CLINIQUES  | CRITERES IRM   | REMARQUES  |
|------------------------|---|--|--|
| Réponse Complète (RC)  | <p><u>Demande tous les critères suivants :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* amélioration ou stabilité clinique</li> <li>* sevrage complet des corticoïdes (sauf posologie de substitution)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Disparition complète des lésions mesurables et non mesurables prenant le contraste (T 1 gadolinium) pendant au moins 4 semaines</li> <li>* Diminution ou stabilité du signal T2/FLAIR</li> <li>* Pas de nouvelles lésions</li> </ul>  | Les patients n'ayant que des lésions non mesurables ne peuvent pas être classés en RC mais simplement en stabilisation |
| Réponse Partielle (RP) | <p><u>Demande tous les critères suivants :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* amélioration ou stabilité clinique</li> <li>* dose stable ou diminuée des corticoïdes</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Diminution de 50 % ou plus de la somme des produits des diamètres perpendiculaires des lésions prenant le contraste par rapport à l'examen de référence</li> <li>* Pas de nouvelles lésions mesurables ou non mesurables</li> <li>* Diminution ou stabilité du signal T2/FLAIR sous une dose stable ou diminuée de corticoïdes</li> </ul>   | Les patients n'ayant que des lésions non mesurables ne peuvent pas être classés en RC mais simplement en stabilisation |
| Stabilité              | <p><u>Demande tous les critères suivants :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* absence de réponse complète, partielle ou de progression</li> <li>* dose stable ou diminuée des corticoïdes</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Diminution ou stabilité du signal T2/FLAIR sous une dose stable ou diminuée de corticoïdes</li> </ul>   |  |
| Progression            | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Détérioration clinique non attribuable à une autre cause que la tumeur (épilepsie, effets adverses de médicaments, complication des traitements, accident vasculaire, infection)</li> <li>* augmentation de la dose des corticoïdes rendue nécessaire par la détérioration clinique</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Augmentation de 25 % ou plus de la somme des produits des diamètres perpendiculaires des lésions prenant le contraste par rapport à l'examen ayant mesuré les dimensions tumorales les plus faibles (soit avant le traitement, soit au moment de la meilleure réponse)</li> <li>* augmentation du signal T2/ FLAIR non lié à une comorbidité : irradiation, démyélinisation, accident ischémique, infection, épilepsie, modifications post-opératoires, autres effets des traitements.</li> <li>* Toutes nouvelles lésions mesurables ou non mesurables</li> <li>* Absence de nouvelle évaluation IRM liée au décès ou à la détérioration clinique</li> </ul> |  |

# ***Bibliographie***

1. **Yamamoto M, Serizawa T, Higuchi Y, et al.** A multi-institutional prospective observational study of stereotactic radiosurgery for patients with multiple brain metastases (JLGK0901 study update): irradiation-related complications and long-term maintenance of mini-mental state examination scores. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2017;99(1):31–40.
2. **Noël G, Antoni D, Barillot I, Chauvet B.** Délinéation des organes à risque et contraintes dosimétriques. *Cancer Radiother* 2016;20:S36–60.
3. **Sperduto PW, Mesko S, Li J, et al.** Survival in Patients With Brain Metastases: Summary Report on the Updated Diagnosis-Specific Graded Prognostic Assessment and Definition of the Eligibility Quotient. *J Clin Oncol* 2020; 38:3773.
4. **Mahajan A, Ahmed S, McAleer MF, et al.** Post-operative stereotactic radiosurgery versus observation for completely resected brain metastases: a single-centre, randomised, controlled, phase 3 trial. *Lancet Oncol* 2017; 18:1040.
5. **M. Gérard, R. Jumeau, B. Pichon, J. Biau, E. Blais, J. Horion, et al.** Contraintes de dose en radiothérapie conformationnelle fractionnée et en radiothérapie stéréotaxique dans les hippocampes, le tronc cérébral et l'encéphale : limites et perspectives. *Cancer Radiother*, 21 (2017), pp. 636-647
6. **Brown P, Cerhan JH, Anderson SK, et al.** N107C/CEC-3 (alliance for clinical trials in oncology/Canadian Cancer Trials Group): phase III trial of post-operative stereotactic radiosurgery (SRS) compared with whole brain radiotherapy (WBRT) for resected metastatic brain disease. *Lancet Oncol.* 2017;18(8):1049–60

7. **Dhermain F, Reyns N, Colin P, Métellus P, Mornex F, Noël G.** Radiothérapie en conditions stéréotaxiques des métastases cérébrales. *Cancer Radiother* 2015;19:25–9.
8. **Hartford AC, Paravati AJ, Spire WJ, et al.** Postoperative stereotactic radiosurgery without whole-brain radiation therapy for brain metastases: potential role of preoperative tumor size. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2013; 85:650.
9. **Brown PD, Ballman KV, Cerhan JH, et al.** Postoperative stereotactic radiosurgery compared with whole brain radiotherapy for resected metastatic brain disease (NCCTG N107C/CEC-3): a multicentre, randomised, controlled, phase 3 trial. *Lancet Oncol* 2017; 18:1049.
10. **Schoenfeld GO, Amdur RJ, Morris CG, Li JG, Hinerman RW, Mendenhall WM.** Patterns of failure and toxicity after intensity-modulated radiotherapy for head and neck cancer. *Int J Radiat Oncol* 2008;71:377-85.
11. **Bilgera A, Milanovica D ,Lorenza H, et al.** Stereotactic fractionated radiotherapy of the resection cavity in patients with one to three brain metastases. *Clin Neurol Neurosurg* 2016;142:81–86.
12. **Navarria P, Pessina F, Clerici E, et al.** Surgery Followed by Hypofractionated Radiosurgery on the Tumor Bed in Oligometastatic Patients With Large Brain Metastases. Results of a Phase 2 Study. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2019; 105:1095.
13. **Mahajan A, Ahmed S, McAleer MF, et al.** Post-operative stereotactic radiosurgery versus observation for completely resected brain metastases: a single-Centre, randomised, controlled, phase 3 trial. *Lancet Oncol.* 2017;18(8):1040–8.

- 14. Akanda ZZ, Hong W, Nahavandi S, et al.** Post-operative stereotactic radiosurgery following excision of brain metastases: A systematic review and meta-analysis. *Radiother Oncol* 2020; 142:27.
- 15. Minniti G, D'Angelillo RM, Scaringi C, Trodella LE, Clarke E, Matteucci P, et al.** Fractionated stereotactic radiosurgery for patients with brain metastases. *J Neurooncol* 2014;117:295–301.
- 16. Dore M, Martin S, Delpon G, et al.** Stereotactic radiotherapy following surgery for brain metastasis: predictive factors for local control and radionecrosis. *Cancer Radiother.* 2017;21(1):4–9.
- 17. Kayama T, Sato S, Sakurada K, et al.** Effects of Surgery With Salvage Stereotactic Radiosurgery Versus Surgery With Whole-Brain Radiation Therapy in Patients With One to Four Brain Metastases (JCOG0504): A Phase III, Noninferiority, Randomized Controlled Trial. *J Clin Oncol* 2018; :JCO2018786186.
- 18. Fuentes R, Osorio D, Expósito Hernandez J, et al.** Surgery versus stereotactic radiotherapy for people with single or solitary brain metastasis. *Cochrane Database Syst Rev* 2018; 8:CD012086.
- 19. Brown PD, Jaeckle K, Ballman KV, et al.** Effect of Radiosurgery Alone vs Radiosurgery With Whole Brain Radiation Therapy on Cognitive Function in Patients With 1 to 3 Brain Metastases: A Randomized Clinical Trial. *JAMA* 2016; 316:401.

20. **Keller A, Doré M, Antoni D, Menoux I, Thillays F, Clavier JB, et al.** Risque de radionécrose après radiothérapie hypofractionnée en conditions stéréotaxiques du lit opératoire de métastases cérébrales. *Cancer Radiother* 2017;21:377–88
21. **Minniti G, Scaringi C, Paolini S, et al.** Single-Fraction Versus Multifraction ( $3 \times 9$  Gy) Stereotactic Radiosurgery for Large ( $>2$  cm) Brain Metastases: A Comparative Analysis of Local Control and Risk of Radiation-Induced Brain Necrosis. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2016; 95:1142.
22. **Brennan C, Yang TJ, Hilden P, et al.** A phase 2 trial of stereotactic radiosurgery boost after surgical resection for brain metastases. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2014;88:130–6.
23. **Lehrer EJ, Peterson JL, Zaorsky NG, et al.** Single versus Multifraction Stereotactic Radiosurgery for Large Brain Metastases: An International Meta-analysis of 24 Trials. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2019; 103:618.
24. **Pessina F, Navarria P, Cozzi L, et al.** Role of surgical resection in patients with single large brain metastases: feasibility, morbidity, and local control evaluation. *World Neurosurg*. 2016;94:6–12.
25. **McTyre E, Ayala-Peacock D, Contessa J, et al.** Multi-institutional competing risks analysis of distant brain failure and salvage patterns after upfront radiosurgery without whole brain radiotherapy for brain metastasis. *Ann Oncol* 2018; 29:497.
26. **Ebner D, Rava P, Gorovets D, et al.** Stereotactic radiosurgery for large brain metastases. *J Clin Neurosci*. 2015;22(10):1650–4.

27. **Sneed PK, Mendez J, Vemer-van den Hoek JG, et al.** Adverse radiation effect after stereotactic radiosurgery for brain metastases: incidence, time course, and risk factors. *J Neurosurg* 2015; 123:373.
28. **Kim JM, Miller JA, Kotecha R, et al.** The risk of radiation necrosis following stereotactic radiosurgery with concurrent systemic therapies. *J Neurooncol* 2017; 133:357.
29. **Brown PD, Ballman KV, Cerhan JH, et al.** Postoperative stereotactic radiosurgery compared with whole brain radiotherapy for resected metastatic brain disease (NCCTG N107C/CEC.3): a multicentre, randomised, controlled, phase 3 trial. *Lancet Oncol.* 2017;18(8):1049–60.
30. **Minniti G, Scaringi C, Paolini S, et al.** Repeated stereotactic radiosurgery for patients with progressive brain metastases. *J Neurooncol* 2016; 126:91.
31. **Trifiletti DM, Lee CC, Kano H, et al.** Stereotactic radiosurgery for brainstem metastases: an international cooperative study to define response and toxicity. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2016;96(2):280–8.
32. **Hartford AC, Paravati AJ, Spire WJ, et al.** Postoperative stereotactic radiosurgery without whole-brain radiation therapy for brain metastases: potential role of preoperative tumor size. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2013;85:650–5.
33. **Patel KR, Burri SH, Asher AL, et al.** Comparing preoperative with postoperative stereotactic radiosurgery for resectable brain metastases: a multi-institutional analysis. *Neurosurgery.* 2016;79(2):279–85.



34. **Patel KR, Burri SH, Boselli D, et al.** Comparing pre-operative stereotactic radiosurgery (SRS) to post-operative whole brain radiation therapy (WBRT) for resectable brain metastases: a multi- institutional analysis. *J Neurooncol.* 2017;131(3):611–8.
35. **Lo SS, Chang EL, Sahgal A.** Radiosurgery for resected brain metastases-a new standard of care? *Lancet Oncol* 2017; 18:985.
36. **Obermueller T, Schaeffner M, Gerhardt J, et al.** Risks of postoperative paresis in motor eloquently and non-eloquently located brain metastases. *BMC Cancer* 2014; 14:21.
37. **Sperduto PW, Kased N, Roberge D, et al.** Summary report on the graded prognostic assessment: an accurate and facile diagnosis-specific tool to estimate survival for patients with brain metastases. *J Clin Oncol* 2012; 30:419.
38. **Rao MS, Hargreaves EL, Khan AJ, et al.** Magnetic resonance-guided laser ablation improves local control for postradiosurgery recurrence and/or radiation necrosis. *Neurosurgery* 2014; 74:658.
39. **Sharma M, Balasubramanian S, Silva D, et al.** Laser interstitial thermal therapy in the management of brain metastasis and radiation necrosis after radiosurgery: An overview. *Expert Rev Neurother* 2016; 16:223.
40. **Soffietti R, Kocher M, Abacioglu UM, et al.** A European Organisation for Research and Treatment of Cancer phase III trial of adjuvant whole-brain radiotherapy versus observation in patients with one to three brain metastases from solid tumors after surgical resection or radiosurgery: quality-of-life results. *J Clin Oncol* 2013; 31:65.
41. **Aoyama H, Tago M, Shirato H.** Stereotactic radiosurgery with or without whole-brain radiotherapy for brain metastases: second- ary analysis of the JROSG 99-1 randomized clinical trial. *JAMA Oncol.* 2015;1(4):457–64.

42. **Sahgal A, Aoyama H, Kocher M, et al.** Phase 3 trials of stereotactic radiosurgery with or without whole-brain radiation therapy for 1 to 4 brain metastases: individual patient data meta-analysis. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2015;91(4):710–7.
43. **Demaria S, Coleman CN, Formenti SC.** Radiotherapy: changing the game in immunotherapy. *Trends Cancer.* 2016;2(6):286–94.
44. **Grimaldi AM, Simeone E, Giannarelli D, et al.** Abscopal effects of radiotherapy on advanced melanoma patients who progressed after ipilimumab immunotherapy. *Oncoimmunology.* 2014;3:e28780.
45. **Rauch PJ, Park HS, Knisely JP, et al.** Delayed radiation-induced vasculitic leukoencephalopathy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2012;83(1):369–75.
46. **Cohen JV, Kluger HM.** Systemic immunotherapy for the treatment of brain metastases. *Front Oncol.* 2016;6:49.
47. **Yomo S, Hayashi M.** Is stereotactic radiosurgery a rational treatment option for brain metastases from small cell lung cancer? A retrospective analysis of 70 consecutive patients. *BMC Cancer.* 2015;15:95.
48. **Garsa AA, Badiyan SN, DeWees T, et al.** Predictors of individual tumor local control after stereotactic radiosurgery for non-small cell lung cancer brain metastases. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2014;90(2):407–13.